

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет  
Кафедра приладобудування

«На правах рукопису»

УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Гераїмчук М.Д.

(підпис)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»  
на тему: «Інтелектуальна система вимірювання відстані»

Виконав : студент 6 курсу, групи ПІ-81мп  
(шифр групи)

\_\_\_\_\_ Скоркіну Олексію Юрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник Киричук Юрій Володимирович д.т.н., проф.  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант розробка стартап-проекту Бояринова К. О. д.е.н., доц.  
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)  
(підпис)

Рецензент Шевченко Вадим Володимирович к.т.н., доцент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ	3
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ	7
1.1 Формулювання задачі та визначення функцій об'єкта проектування	7
1.2 Дослідження властивостей п'єзоелектричних матеріалів та їх застосування	9
1.3 Висновки до розділу	23
РОЗДІЛ 2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	24
2.1 Методологія використання мікроконтролера з нечіткою логікою	24
2.2 Розрахунок відстані та розробка алгоритму вимірювання	33
2.3 Розробка математичної моделі ультразвукового перетворювача	44
2.4 Порівняння показань зразкового і розробленого пристрою	55
2.5 Розрахунок основних метрологічних характеристик	57
2.6 Висновки до розділу	66
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ	67
3.1 Опис ідеї проекту	67
3.2 Технологічний аудит ідеї проекту	69
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту	70
3.4 Розробка ринкової стратегії проекту	77
3.5 Розробка маркетингової програми стартап проекту	80
3.6 Висновки до розділу	83
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	86
ДОДАТКИ	89

ДОДАТОК А	89
ДОДАТОК Б СПЕЦИФІКАЦІЇ	91

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

$Z$  – акустичний імпеданс, Н·с/м<sup>5</sup>

АЧХ – амплітудо-частотна характеристика

$A$  – амплітуда

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

$H$  – варіація, %

$\delta$  – відносна похибка, %

$L$  – відстань, м

ГТІ – генератор тактових імпульсів,

$\rho$  – густина, кг/м<sup>3</sup>;

ДРЧ – датчик реального часу,

$D$  – діаметр, м

$\lambda$  – довжина хвилі

$C$  – ємність, Ф

$\varepsilon$  – коефіцієнт діелектричної проникності

$k$  – коефіцієнт електромеханічного зв'язку

$\mu$  – коефіцієнт Пуассона

$m$  – маса, кг;

МК – мікроконтролер,

$Q_m$  – механічна добротність

FLASH – накопичувач флеш-карта

$U$  – напруга, В

$V$  – об'єм, м<sup>3</sup>

$Z$  – опір, Ом

$T$  – період, с

ПЕ – п'єзоелемент

$\gamma$  – приведена похибка, %

ПСЗ КС – пристрій сполучення та зв'язку контрольної системи

ТКЕ – температурний коефіцієнт ємності,

ТКЛР – температурний коефіцієнт лінійного розширення

ТКЧ – температурний коефіцієнт резонансної частоти ТКЧ,

$p$  – тиск, Па

УЗД – ультразвуковий датчик

ЦТС (PZT) – цирконат-титанат свинцю

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач

$v$  – швидкість, м/с

$t$  – час, с

$f$  – частота, Гц

## ВСТУП

Вимірювання відстані — це те, з чим людство зіштовхується в багатьох аспектах свого існування: починаючи з елементарних повсякденних вимірювань підручними засобами, закінчуючи надскладними розрахунками відстані до далеких галактик.

Точність, вартість та легкість проведення вимірювання, це три основних критерії, які штовхають розвиток даної галузі.

Причиною, по якій був обраний ультразвуковий метод вимірювання відстані, є його універсальність та широкий спектр практичного застосування. Ультразвук застосовується в багатьох сферах діяльності людини: в медицині, виробництві, науці, а також у таких повсякденних ситуаціях як, наприклад, паркування автомобіля. У наш час застосування ультразвуку знайшло своє місце в різноманітних методах і технологіях, наприклад: за швидкістю поширення звуку в середовищі можна визначити його фізичні характеристики, що широко використовується в дослідженнях методами неруйнівного контролю твердих тіл; вимірювання відстані засобами навігації та орієнтації в просторі в авіації та автомобілебудуванні; використання ультразвукових датчиків для контролю роботи елементів машин та механізмів різноманітних автоматизованих систем і т.д.

Розробки такого роду мають важливе значення для розвитку виробництва та економіки країни в цілому, оскільки створення власних пристроїв сприяє промисловій незалежності країни, та виведенню її продукції на міжнародну арену як створювача трендів розвитку технологій у світі.

Результати даного дослідження дозволяють створити одночасно якісну та недорогу вимірювальну систему, комплексне вирішення завдань якої дозволить їй зайняти престижну нішу в даному сегменті на ринку приладів.

Досліджена система розроблена з можливістю її інтеграції в будову різноманітних транспортних засобів для надання допомоги при маневруванні водієві.

Прилад здійснює вимірювання з радіусом в  $180^\circ$ , та має декілька взаємно доповнюваних засобів виведення інформації, створених для кращого взаємозв'язку з користувачем, а саме подання звукового сигналу та виведення результату вимірювання на дисплей пристрою виведення інформації. Передбачається можливість інтеграції та управління системою за допомогою мобільного пристрою користувача, що в свою чергу дає можливість здійснення перепрограмування та метрологічної перевірки за допомогою персонального комп'ютера. Легкість встановлення нових модифікацій, підключення до різних джерел живлення, а також простота заміни елементів пристрою при їх виході з ладу є одними з найважливіших рис, що характеризують даний пристрій.

Основою створення вимірювального пристрою є коректність поставленого технічного завдання та правильний підбір елементної бази під його виконання, після чого створення схеми пристрою. Збірка макета пристрою за схемою дасть можливість пересвідчитися у працездатності та взаємній сумісності окремих елементів вимірювальної системи. Одним з найважливіших кроків в процесі розробки є програмування пристрою для його коректної роботи, для здійснення якого необхідно розробити необхідні алгоритми на сучасній мові програмування. Під розміри відповідних елементів пристрою необхідно розробити захисні корпуси перетворювачів, блоку обробки інформації та пристрою виведення, які будуть захищати обладнання від зовнішніх впливів, мати надійну конструкцію та сучасний дизайн.

Таким чином, метою випускної кваліфікаційної роботи є моделювання і створення пристрою для вимірювання відстані за допомогою ультразвукових перетворювачів на основі мікроконтролера з нечіткою логікою.

# РОЗДІЛ 1

## ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ МАТЕРІАЛІВ ЗА ТЕМОЮ МАГІСТЕРСЬКОЇ ДИСЕРТАЦІЇ

### 1.1 Формулювання задачі та визначення функцій об'єкта проектування

**Метою** магістерської дисертації є розробка інтелектуальної системи вимірювання відстані для інтегрування в будову транспортних засобів.

**Основними задачами** дослідження є аналіз існуючих методологій вимірювання відстані, розробка конструкції системи та програмного забезпечення для її функціонування, дослідження метрологічних характеристик перетворювача.

**Об'єктом** дослідження є інтелектуальна системи вимірювання відстані на основі мікроконтролера з нечіткою логікою.

**Предметом** дослідження є методологія розробки та функціонування системи вимірювання відстані за допомогою ультразвукових перетворювачів.

В якості **методів** дослідження і апаратури використовувався програмний пакет для створення елементів конструкції «SolidWorks» та програми для створення ПЗ для мікроконтролерів нечіткою логіки.

**Результатами виконання** магістерської дисертації є створення та оформлення конструкторської документації для створення прототипу вимірювальної системи, розроблена методика взаємозв'язку між компонентами системи та програмне забезпечення для безвідмовного функціонування в конструкції транспортного засобу.

**Новизна отриманих результатів** обґрунтована створенням власної конструкції пристроїв, програмного забезпечення та дослідженням впливу температурних факторів навколишнього середовища в процесі вимірювання відстані.

**Науковою цінністю результатів**, отриманих в процесі виконання дисертації є те, що на їх основі можна впровадити власне виробництво систем вимірювання відстані з метою їх подальшої реалізації.



В основу дослідження покладено **2 публікації** в матеріалах міжнародної наукової інтернет-конференції "Інформаційне суспільство: технологічні, економічні та технічні аспекти становлення", випуск 41 та 43.

**Ключові слова:** мікроконтролер, програмування, вимірювальні прилади, метрологічні характеристики, ультразвукові перетворювачі, автомобілебудування.

## **1.2 Дослідження властивостей п'єзоелектричних матеріалів та їх застосування**

В основі використаного методу вирішення поставленої задачі лежить явище п'єзоефекту. П'єзоелектрики застосовуються в багатьох галузях, зокрема для контролю промислових процесів, систем виробництва напівпровідників, побутових електричних приладах, системах контролю зв'язку, різних вимірювальних приладах та в інших областях. При цьому область застосування даних матеріалів постійно зростає. Застосування п'єзоелемента зазвичай зводиться до чотирьох категорій: сенсори, генератори, силові приводи, і перетворювачі.

В генераторах, п'єзоелектричні матеріали можуть генерувати напругу, якого достатньо для виникнення іскри між електродами, і таким чином можуть бути використані як електроди для запалення палива, для газових плит і для зварювального устаткування. Альтернативно, електрична енергія, що генерується п'єзоелектричними елементами, може накопичуватися. Такі генератори є чудовими твердими акумуляторними батареями для електронних схем [1].

У силових приводах, п'єзоелектричні матеріали перетворюють електричний сигнал в переміщення, чітко встановлюючи точність механічних інструментів, лінз і дзеркал.

У перетворювачах, п'єзоелектричні перетворювачі можуть, як генерувати ультразвуковий сигнал з електричної енергії, так і навпаки механічні коливання конвертувати в електричні. П'єзоелектричні прилади проектується для вимірювання відстаней, швидкості потоку, і рівня рідини. Перетворювачі так само використовуються, щоб генерувати ультразвукові вібрації для очищення, свердління, зварювання, подрібнення кераміки і для медичної діагностики [1]

П'єзоелементом являється перетворювач, що виготовляється з п'єзоелектричних матеріалів, який має певну орієнтацію відносно кристалографічних осей та форму, за допомогою якого механічна енергія

перетворюється в електричну (прямий п'єзоефект), і навпаки (зворотний п'єзоефект). Конструктивно п'єзоелемент являє собою пластину з п'єзокераміки або іншого матеріалу, з під'єднаними до неї з обох боків електродами. У практичному застосуванні для досягнення оптимальних характеристик п'єзоелементи мають найрізноманітніші форми, зокрема плоских пластин, дисків, кілець, трубок та ін. [1].

П'єзоелектричні речовини (п'єзоелектрики), зокрема п'єзокераміка, мають властивість, що при деформації, викликану дією зовнішнього механічного тиску на їх поверхні виникають електричні заряди. Цей ефект називається прямим п'єзоелектричним ефектом і був відкритий в 1880 році братами Кюрі [1].

Трохи згодом, в 1881 році був підтверджений і зворотний п'єзоефект, розташувавши таку речовину між двома електродами, вона починає змінювати свою форму в результаті реакції на прикладену до неї електричну напругу. Обидва ефекти лежать в основі вимірювання різноманітних фізичних величин [1].

В процесі подальших дослідження в даній галузі було доведено, що властивості цих матеріалів пов'язані з властивостями їх структури елементарних комірок. Доведено, що необхідною умовою для виникнення п'єзоефекту є відсутність центру симетрії в елементарній комірці. При цьому вона є найменшою симетричною одиницею матеріалу, з якої шляхом її багаторазового повторення можна отримати мікроскопічний кристал.

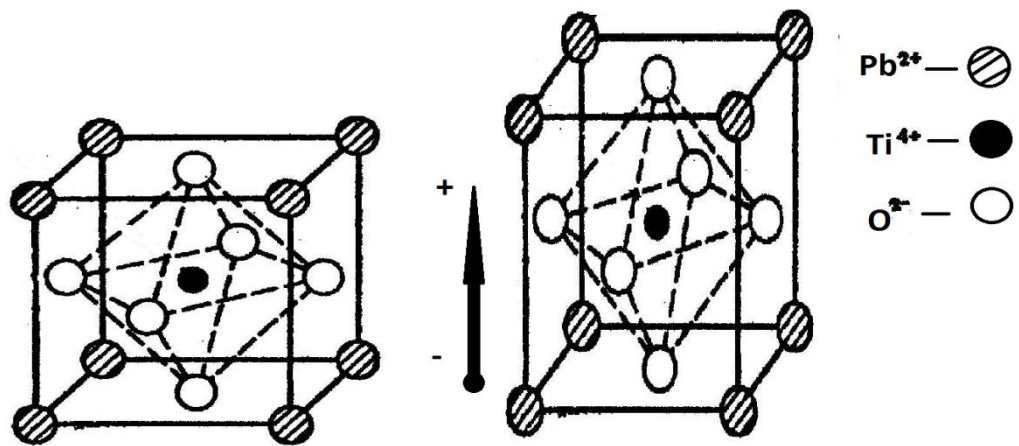


Рис. 1.1 Модель сполуки цирконата титанату свинцю (ЦТС) при температурі вище (зліва) і нижче точки Кюрі

Часте застосування п'єзокераміки можна пояснити на прикладі титанату барію, який має просту конструкцією елементарної комірки.

$\text{CaTiO}_3$ , або як ще його називають перовскит, є родоначальником даного класу, від якого і було взято назву наступних представників даного класу. Кубічною елементарна комірка залишається при температурі вище так званої точки Кюрі або критичної. Якщо ж температура нижче цього показника, то елементарна комірка тетрагонально деформується у напрямку до однієї з осей. Як зображено на рис. 1.1 в результаті змінюються і відстані між позитивно і негативно зарядженими іонами. Зсув іонів у порівнянні з їх початковим положенням незначний, лише декілька відсотків в залежності від матеріалу. Але він викликає поділ центрів тяжіння зарядів всередині комірки, що призводить до утворення дипольного електричного моменту. По енергетичному закону сусідні диполі елементарних комірок кристалу вишиковуються в однаковому напрямку, утворюючи так звані домени по всій області.

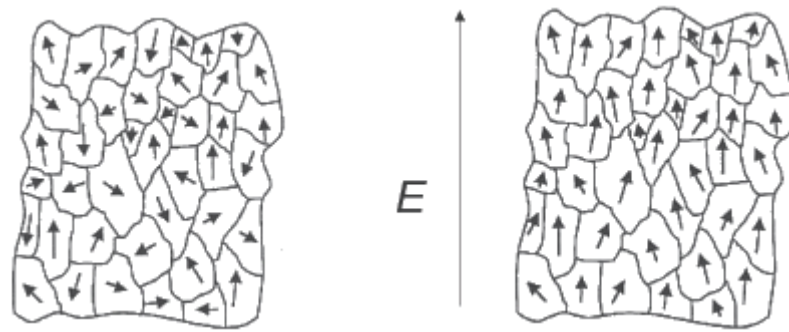


Рис. 1.2 – Впорядкування доменів під дією сильного електричного поля (поляризація)

По статичному закону в структурі кристалу розподіляються напрямки поляризації доменів. Завдяки цьому хаотичні об'єднання окремих мікрочастин в структурі речовини, які утворюються тільки в спеченій кераміці, в макроскопічному сенсі взагалі не можуть давати ніякої п'єзоелектричного ефекту. Використовувати п'єзоелектричні властивості елементарних осередків стає можливим лише після так званого процесу поляризації, в процесі якого відбувається накладення електричного поля напругою понад 5000В на кераміку, в результаті чого відбувається паралельне вирівнювання якомога більшої кількості доменів. Для полегшення орієнтації доменів, цей процес нижче критичної температури. В результаті цього навіть після охолодження зберігається стабільна впорядкованість доменів. Деформація п'єзоелектричної пластини перпендикулярно до напрямку поляризації, призводить до зміни направленості всіх елементарних осередків зміщуючи центри мас зарядів всередині елементарних комірок і в результаті ми отримуємо на поверхні електричний заряд [2].

Від фізичних властивостей п'єзoelementу багато в чому полягає взаємозв'язок вихідної напруги та її напрямку і деформацією .

Анізотропність – одна з властивостей п'єзоелектричних кристалів. На рис. 1.3 зображено як напрямлені вісі орієнтації п'єзоелектричного кристалу Осі 1, 2 і 3 є відповідними аналогами осей X, Y, Z класичної ортогональної

системи координат, в той час як осі 4, 5, і 6 визначають осі обертання. Напрямок осі 3 є напрямком поляризації [3]. Він надається поданням надвисоких напруг в процесі поляризації.

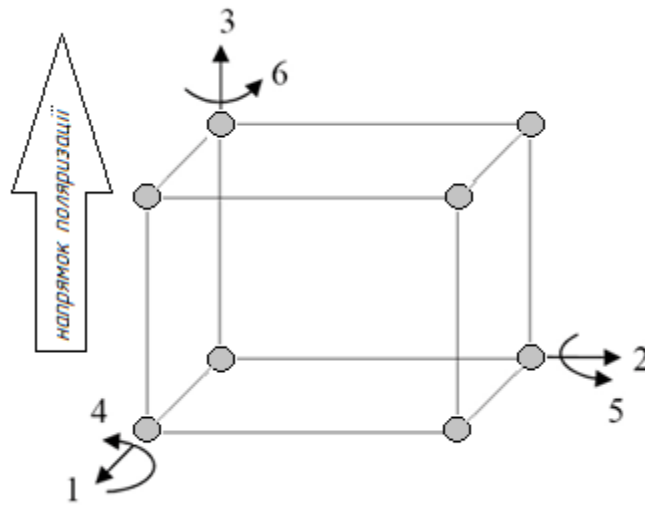


Рис. 1.3 – Поляризація елементарної комірки п'єзокристалу

Відомі наступні властивості, що характерні під час явища п'єзоефекту:

- Густина
- Пружність
- Критична температура з відповідними температурними коефіцієнтами
- Відносні діелектрична та п'єзоелектрична сталі
- Резонансно-частотні характеристики
- Коефіцієнти Пуассона та електромеханічного зв'язку
- добротність та зносостійкість матеріалу

Густина

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1.1)$$

де  $\rho$  - густина, кг / м<sup>3</sup>;  $m$  - маса, кг;  $V$  - об'єм, м<sup>3</sup>.

Пружність п'єзо електриків характеризується параметрами пружної піддатливості  $S_{ij}^{E,D}$  та пружної жорсткості  $C_{ij}^{E,D}$ . Величина деформації, що

виникає під впливом прикладеного механічного напруження називається пружною піддатливістю визначає Беручи до уваги те, власне що під впливом механічної напруги кераміка породжує електричний заряд, який протидіє результуючій деструкції, дієвий модуль Юнга при короткому замиканні електродів менше, ніж при холостому ході.

На додаток, жорсткість різна в різних напрямках, в наслідок цього для чіткого визначення величини вказуються електронні і механічні обставини. Верхній індекс Е вказує на вимірювання в незмінному електричному полі (коротке замикання). У той час як, індекс D показує на максимальну умова - систематичне електронне зміщення (індукція), тобто вимірювання відбуваються при холостому ході. 1-ша нижня цифра демонструє призначення деструкції, 2-а призначення механічної напруги [4].

Критична температура - це температура, при перевищення якої матеріал втрачає свої п'єзоелектричні властивості [3].

Існує декілька типів температурних коефіцієнтів, які вказують на зміну відповідних властивостей матеріалу при зміні температури [5]. Серед них в явищі п'єзоефекту важливу роль відіграють температурний коефіцієнт резонансної частоти (ТКЧ), температурний коефіцієнт ємності (ТКЕ), - температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР),

$$TKЧ = \frac{1}{\Delta t} \frac{f(t1) - f(t2)}{f_{н.у.}} \cdot 10^6, \quad (1.2)$$

де  $f_{t1}$ ,  $f_{t2}$ ,  $f_{н.у.}$  - резонансні частота (Гц) при температурі  $t1$ ,  $t2$  та за нормальних умов відповідно;  $\Delta t$  - різниця температур,  $\Delta t = t2 - t1$

$$TKЕ = \frac{1}{\Delta t} \frac{C(t1) - C(t2)}{C_{н.у.}} \cdot 10^6, \quad (1.3)$$

де  $C_{t1}$ ,  $C_{t2}$ ,  $C_{н.у.}$  – ємність при температурі  $t1$   $t2$  та за нормальних умов відповідно.

$$TKLP = \frac{1}{\Delta t} \frac{l(t1) - l(t2)}{l_{н.у.}} \cdot 10^6, \quad (1.4)$$

Де  $l_{t1}$ ,  $l_{t2}$ ,  $l_{н.у.}$  - довжина при температурі  $t1$ ,  $t2$  та за нормальних умов відповідно.

Відношенням діелектричної проникності  $\varepsilon_{22}^T$  і  $\varepsilon_{11}^T$  до діелектричної проникності вакууму ( $\varepsilon_0$ ) є відносна діелектрична стала:

$$\frac{\varepsilon_{22}^{T(S)}}{\varepsilon_0}; \frac{\varepsilon_{11}^{T(S)}}{\varepsilon_0}, \quad (1.5)$$

де  $\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \text{Ф / м.}$

Верхні індекси  $T$  та  $S$  свідчать про граничні умови, що впливають на матеріал в під час вимірювання відносної діелектричної постійної, а саме про свободу та закріпленість п'єзокерамічного зразка [4]. Нижні індекси вказують на напрямок діелектричного зсуву та електричного поля відповідно. Формула розрахунку відносної діелектричної постійної наступна:

$$\frac{\varepsilon_{ij}^T}{\varepsilon_0}; = \frac{tC}{\varepsilon_0^2 S}, \quad (1.6)$$

де  $\varepsilon_{ij}^T$  - діелектрична проникність;  $t$  - відстань між електродами;  $S$  - площа електрода;  $C$  - ємність.

Власна частота пластини по товщині  $f_0$  описується рівнянням:

$$f_0 = \frac{c}{2t}, \quad (1.7)$$



де  $c$  - швидкість звуку в матеріалі [3].

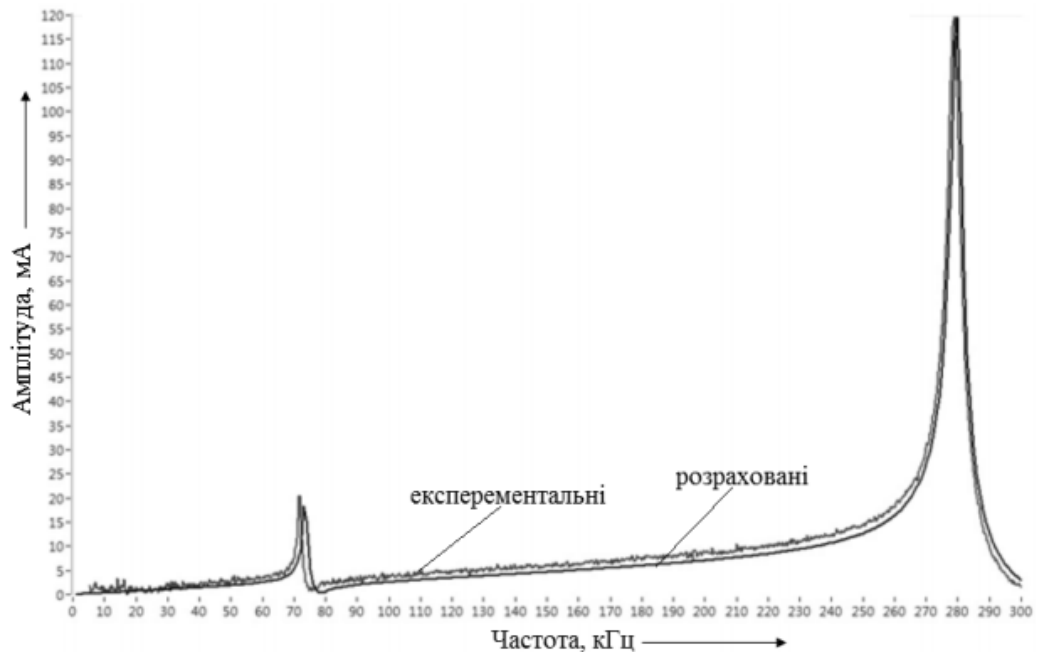


Рис. 1.4 – АЧХ кільцеподібного п'єзоелемента з ЦТС-40 [2]

Що стосується коефіцієнту Пуассона – він пов'язує між собою відношення відносних поперечних та поздовжніх деформацій [6]

$$\mu = -\frac{\Delta a \cdot l}{\Delta l \cdot a}, \quad (1.8)$$

де  $\mu$  - коефіцієнт Пуассона;  $\Delta a$  - зміна товщини;  $a$  – кінцеве значення товщини;  $\Delta l$  - зміна довжини;  $l$  - кінцеве значення товщини довжини.

Здатність до перетворення електричної енергії в механічну п'єзоелемента визначається коефіцієнтами електромеханічного зв'язку  $k_p$ ,  $k_{33}$ ,  $k_{15}$ ,  $k_t$  та  $k_{31}$ . Квадрат цієї величини дорівнює значенню перетвореної електричної енергії, поділеної на значення вхідної механічної енергії і навпаки. Значення індексу означає тип коливань на їх відносні механічні та електричні напрямки. Їх, як правило, пов'язують з модою коливань простого перетворювача заздалегідь відомої форми. Коефіцієнт  $k_p$  визначає

взаємозв'язок електричної і механічної енергії в тонкій круглій пластині, що здійснює радіальні коливання - пленарна мода (рис. 1.5а), поляризованої по товщині.  $k_{31}$  описує розтяг по довжині бруска з під'єднаними електродами (рис. 1.5б).  $k_t$  описує тонку пластину, яка деформується по товщині (рис. 1.5в).

На рис. 1.5г показано застосування коефіцієнта  $k_{33}$  використовують для опису довгого тонкого бруска, поляризованого та деформованого по довжині.  $k_{15}$  описує поперечні коливання (рис. 1.5д) [7].

Цей коефіцієнт може бути обчислений через резонансну і антирезонансним частоту за формулою:

$$k_t = \sqrt{\frac{f_a - f_r}{0,405 (2f_a - f_r)}}, \quad (1.9)$$

де  $f_r$  та  $f_a$  – резонансна і антирезонансна частота відповідно [8].

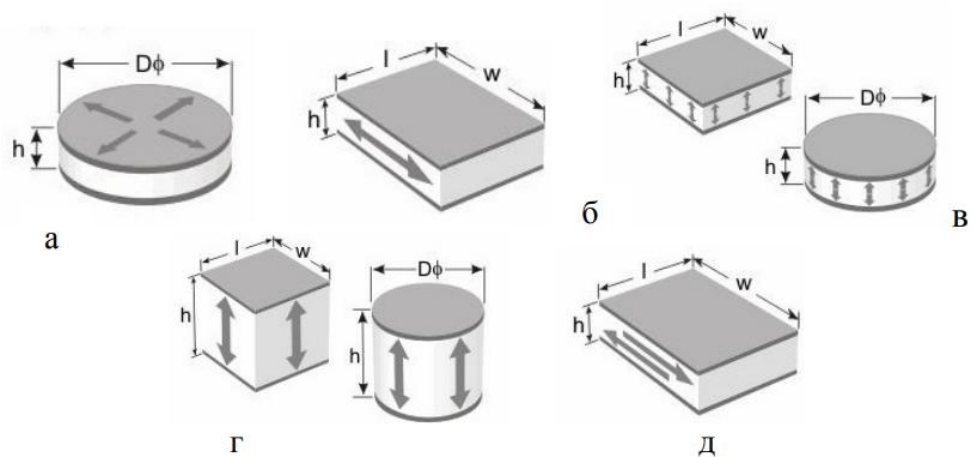


Рис. 1.5 - Види коливань зразків п'єзокераміки різної форми

- а) Радіальний розтяг по довжині; б) Деформація по товщині;  
 в) Коливання п'єзоелемента по довжині; г) Коливання п'єзоелемента по товщині; д) Зсув по товщині [1]

Вказані вище величини вимірюються за допомогою аналізатора імпедансу, який дає можливість отримати графік залежності опору від частоти п'єзокераміки, як показано на рис. 1.6.

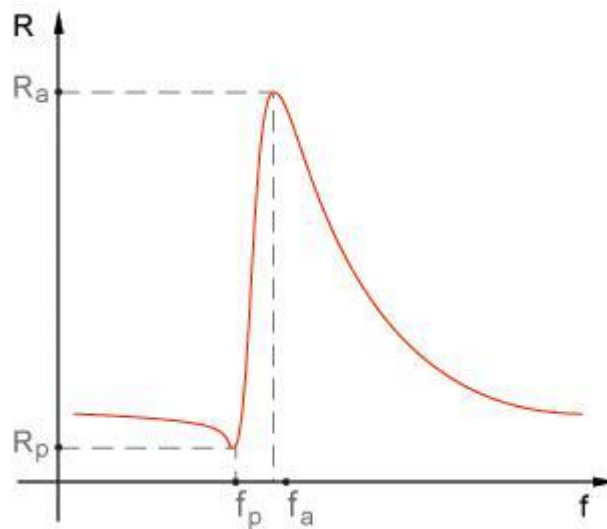


Рис. 1.6 - Залежність опору від частоти у п'єзокераміки [8]

На ньому частота з мінімальним опором вважається резонансною ( $f_r$ ), а з максимальним - антирезонансною ( $f_a$ ). Резонансна частота спостерігається при незначних значеннях опору, а антирезонансна навпаки, спостерігається при значному опорі.

П'єзоелектричний модуль – фізична величина, яка характеризує відношення механічною деформацією та прикладеним електричним полем [2]

$$d_{33} = \frac{\Delta x_s}{U_s}, \quad (1.10)$$

де  $\Delta x_s$  - зміна геометричних параметрів пластини;  $U_s$  - прикладена напруга.

Важливо розуміти, що при проектуванні ультразвукових перетворювачів великі значення  $d_{ij}$  призводять до великих механічних зсувів.  $d_{33}$  застосовують, коли напрям сили збігається з напрямком

поляризації (рис. 1.5г). Якщо сила прикладається перпендикулярно осі поляризації, то використовують коефіцієнт  $d_{31}$ , при цьому виникнення заряду на електродах ідентично попередньому випадку (рис. 1.5б).  $d_{15}$  показує накопичення заряду на електродах, які перпендикулярні початковим поляризованим електродам, викликаючи при цьому зсувні коливання (рис. 1.5д).

П'єзоелектрична константа тиску  $g_{ij}$  - відношення отриманої напруги до прикладеного тиску [1].

$$U_e = g_{33} dp_x, \quad (1.11)$$

де  $U_e$  - результуюча напруга;  $d$  - товщина;  $p_x$  - прикладений тиск. Індекс «33» демонструє, власне що електронне поле і механічне зусилля націлені уздовж осі поляризації. Індекс «31» означає, власне що натиск прикладається під прямим кутом до осі поляризації, при цьому зусилля знімається з тих же електродів, власне що і у випадку з «33». Індекс «15» означає, власне що прикладена зусилля вважається зсувними, а результуюче електронне поле перпендикулярно осі поляризації. Високі значення  $g_{ij}$  призводить до високих вихідних напружень, власне що краще для датчиків.

Зносостійкість є часовою характеристикою показника взаємозв'язку ємності п'єзoeлемента та його резонансної частоти. Для визначення швидкості старіння електроди з'єднуються разом та піддають термічній обробці на протязі певного проміжку часу після процесу поляризації. При цьому слідкують за значеннями резонансної частоти і ємності протягом декількох днів. Швидкість старіння  $AR$  визначається ємності або резонансної частоти формулою [1]:

$$AR = \frac{1}{\log t_2 - \log t_1} \frac{X_{t2} - X_{t1}}{X_{t1}}, \quad (1.12)$$

де  $t_1, t_2$  - кількість діб після поляризації;  $X_{t1}, X_{t2}$  – результуючі значення резонансної частоти або ємності після  $t_1$  і  $t_2$  діб після поляризації [1].

Коефіцієнт якості є кількісною характеристикою резонансних властивостей коливальних систем, яка показує, у скільки разів амплітуда вібруючих коливань при резонансі перевищує амплітуду вібруючих коливань на частоті, значно меншою, ніж резонансна частота, з тієї ж амплітудою зондуєчої сили [8]. Коефіцієнт якості дорівнює відношенню власної частоти  $\omega$  резонансної системи до ширини  $\Delta\omega$  смуги частот, на краю якої енергія системи при вимушених коливаннях дорівнює половині енергії в резонансі [6].

$$Q_m = \frac{f_a^2}{2\pi f_r Z_r C (f_a^2 - f_r^2)}, \quad (1.13)$$

де  $Q_m$  - механічний коефіцієнт якості;  $f_r$  - резонансна частота;  $f_a$  - антирезонансна частота;  $Z_r$  - опір при резонансі;  $C$  – ємність;

До пристроїв, які працюють за принципом п'єзоелектричного резонансу, виставляють вимоги високої механічної добротності.

виробництво п'єзоелементів

Більшість п'єзокерамічних композицій засновані на хімічних сполуках формули  $ABO_3$  (наприклад,  $BaTiO_3$ ,  $PbTiO_3$ ) з кристалічною структурою, таких як пероксид, і різних твердих розчинах на їх основі (наприклад,  $BaTiO_3$  -  $CaTiO_3$ ,  $BaTiO_3$  -  $CaTiO_3$  -  $CoCO_3$ ,  $NaNbO_3$  -  $KNbO_3$ ). Особливо широко використовуваними в якості п'єзоелектричних матеріалів є склади системи  $PbTiO_3$  -  $PbZrO_3$  (PZT або ЦТС). Практичний інтерес представляє також ряд з'єднань, наприклад, з формулою  $AB_2O_6$ .  $PbNb_2O_6$ , що мають досить високий Кюрі точка ( $\sim 570^\circ C$ ), що дозволяє створювати п'єзоелементи для роботи при високих температурах.



Рис. 1.7 - Порошок для виготовлення п'єзоелемента

Процес виготовлення п'єзокераміки ділиться на кілька етапів. При синтезі даного сегнетоелектричного з'єднання вихідна сировина (оксиди або солі, наприклад, діоксид титану і оксид барію) подрібнюють і змішують в кількостях, відповідних стехіометричному складу з'єднання, а потім піддають термічній обробці при температурі  $900 - 1300^{\circ}\text{C}$ , протягом якого відбувається хімічний синтез. Також перемиг так званий метод осадження у водних розчинах, при якому температура синтезу знижується до  $750-1000^{\circ}\text{C}$  через ідеального перемішування компонентів. Зі спресованого синтезованого порошку виготовляють заготовки необхідної конфігурації та розмірів для майбутніх п'єзоелементів, які потім піддаються відпалу за строго певних температурних умов, що надалі в значній мірі визначає властивості п'єзокераміки. Обробка деталі після відпалу забезпечує стабільність форми і розміру. При застосуванні електродів з срібла, нікелю, платини і т.д.

Найбільш широко використовувався метод спалювання срібла. Для поляризації кераміки на електроди подається електрична напруга (напруженість поля  $E$  становить від  $0,5$  до  $3\text{ кВ / мм}$  в залежності від хімічного складу і методу поляризації). Щоб зменшити напруженість поля  $E$  під час поляризації, зразок нагрівають до температур, близьких до точки Кюрі (тобто  $K$  в цьому домені більш розсипчастий), а потім повільно охолоджують в присутності поля. П'єзокераміці властивий так званий процес

старіння, тобто зміна її параметрів (діелектрична проникність, п'єзоелектричний модуль) в часі, що особливо помітно в перші кілька днів після виготовлення і поляризації зразків, це в свою чергу пов'язано зі зміною як механічної напруги на кордонах зерен, так і поляризації надлишкових значень [9].

### **1.3 Висновки до розділу**

В цьому розділі було сформовано задачі для визначення функцій об'єкта проектування, розглянуто мету та методи дослідження, висвітлено новизну та наукову цінність отриманих результатів.

Досліджено явища прямого та зворотного п'єзоефектів, основні властивості п'єзоелектричних матеріалів, особливості їх виготовлення та специфіку застосування.



## РОЗДІЛ 2

### ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

#### **2.1 Використання інтелектуальної платформи в ультразвукових перетворювачах для вимірювання відстані**

Вимірювальні прилади є найважливішими компонентами систем управління технологічними процесами об'єктами і виробництвом. Починаючи з простих засобів визначення параметрів вимірюваних величин, вони поступово перетворюються на багатофункціональні засоби автоматизації, які вирішують цілий ряд завдань пов'язаних з діагностикою, перетворенням та передачею вимірювальної інформації, виконання складних алгоритмів управління і т. д. [10] .

У зв'язку з розвитком технологій в мікроелектроніці, а саме - збільшення швидкодії, підвищення енергоефективності, стала можливою багатофункціональність вимірювальних приладів завдяки оснащенню їх вбудованим мікроконтролером.

Як пристрій для вимірювання відстані в промислових умовах застосовуються ультразвукові вимірювальні прилади різного типу, принцип дії яких заснований на вимірюванні відбитих імпульсів ультразвуку від об'єкта вимірювання. Прикладом таких пристроїв можуть бути сумісні п'єзоперетворювачі, які виступають як в ролі випромінювача , так і приймача [11;12].

Принцип дії для визначення відстані можна розділити на три етапи:

- випромінювання імпульсу перетворювачем на певній ультразвуковій частоті;
- отримання датчиком відбитого імпульсу від об'єкта контролю;
- визначення різниці часу між моментом випромінювання імпульсу і моментом отримання відбитого імпульсу, поділене на два (у зв'язку з проходженням імпульсу в обидві сторони).

Контроль процесу вимірювання та налаштування параметрів вимірювального обладнання проводиться мікроконтролером, який забезпечує високу лінійність вимірювань.

Протиріччям при реєстрації і обробці є темп вимірювань, тому оптимальну частоту таймера вибирають виходячи з умов завадостійкості і загасання ультразвукових коливань в повітрі. Оптимальна чистота, в залежності від умов експлуатації може становити від десятків кГц до сотень МГц.

Структурна схема ультразвукового вимірювального пристрою представлена на малюнку 1 [12; 13].



Рис. 2.1 Типова блок-схема ультразвукового датчика з суміщеними випромінювачем і приймачем

Відбитий ехо-сигнал обчислюється з інтервалом вимірювань точністю не менше 1 мкс (або 1,085 мкс для датчиків, керованих мікроконтролером по типовими інтерфейсам), що можна порівняти з фізичної роздільною здатністю по дальності 0,172 мм або 0,186 мм. Датчики даної серії мають в своєму складі 12-розрядний ЦАП, максимально роздільна здатність якого зберігається, якщо діапазон виміру (відстань між ближньою і зонами) не перевищує  $4096 \times 0,172 = 705$  мм (або  $4096 \times 0,186 = 762$  мм).

Для визначення абсолютної точності вимірювань ультразвукового вимірювального приладу мають бути враховані фактори навколишнього середовища, а саме:

- Температура навколишнього середовища;
- атмосферний тиск;
- відносна вологість середовища;
- турбулентність повітряного чи іншої середовища;
- градієнт температури навколишнього середовища або повітря в динаміці.

Загальний показник помилки відповідності не повинен перевищувати 2% при відтворюваності результатів і 0,2% лінійності.

Для вирішення поставленого завдання були розглянуті методи об'єктивного контролю обладнання на основі розподіленої інтелектуальної платформи для елементів автоматики. Наведено методику оцінки ситуаційного відновлення подій. Для виконання пошуку був використаний метод мінімакса та методи визначення лінгвістичних змінних і правил. Актуальність дослідження реалізації інтелектуальної платформи і використані методи формують чітке уявлення про вимоги і форми уявлення досліджуваної проблеми.

На основі проведеного аналізу роботи ультразвукових вимірювальних приладів розроблена загальна структурна схема інтелектуального датчика, представлена на рис. 2. 2 [14].

Структура інтелектуального датчика містить наступні функціональні вузли: ГТІ - генератор тактових імпульсів, ДРЧ - датчик реального часу, МК - мікроконтролер, УЗД - ультразвуковий датчик, FLASH - накопичувач флеш-карта і ПСЗ КС - пристрій сполучення та зв'язку контрольної системи.

Збір інформації проводиться на флеш-карту формату SD, що працює по цифровому інтерфейсу SPI.

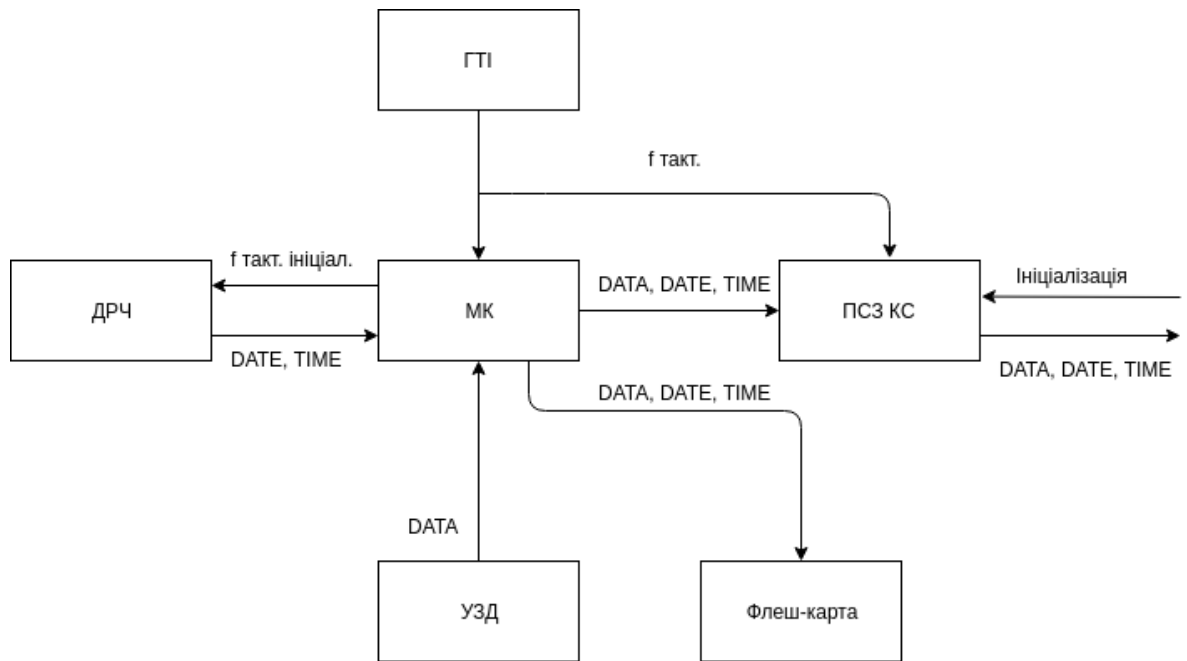


Рис. 2.2 Загальна структурна схема інтелектуального датчика

Важливим доповненням для організації інтелектуальної платформи для ультразвукового вимірювального приладу є мікроконтролер [15], який реалізує нечіткі правила, його блок-схема представлена на рис. 2.3.

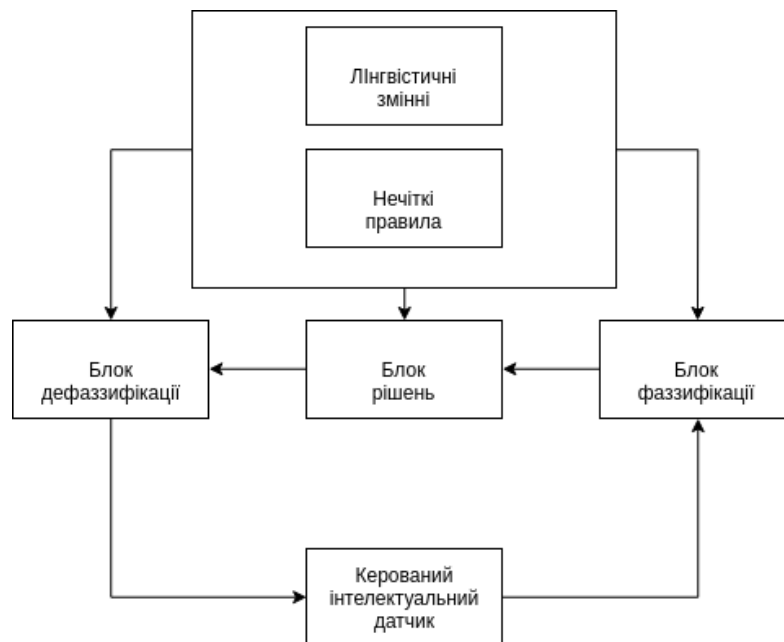


Рис.2.3 Загальна структура мікроконтролера нечіткої логіки з керованим інтелектуальним датчиком

Основними складовими мікроконтролера є блок дефазифікації, блок фазифікації, блок рішень та база даних [15].

Блок дефазифікації виконує роль перетворювача нечітких даних (як лінгвістичних змінних) від блоку рішень в чітку величину, яка використовується для управління об'єктом. Значення екстремумів, отриманих при вимірюванні відстані від базової поверхні до перешкоди, фіксуються і заносяться в таблицю.

Блок фазифікації - перетворювач чітких величин в нечіткі величини, значення яких попередньо визначені в базі даних як лінгвістичні змінні.

Блок рішень призначений для перетворення нечітких вхідних даних в сигнали управління, які так само мають нечіткий характер.

У проектованій системі вхідною змінною є відстань до перешкоди, яку показує ультразвуковий вимірювальний прилад. Певні інтервали для вхідних лінгвістичних змінних формуються з мінімальними і максимальними значеннями сигналів ультразвукового датчика [16].

За технічними характеристиками визначимо відстань до перешкоди в межах допустимих значень від 30 до 350 мм. На рис. 2.4 представлені результати вимірювання відстані в критично небезпечній зоні.

До 35 мм немає абсолютної впевненості в тому, що збій відбудеться і його треба фіксувати (наприклад, значення відстані 110 мм відповідає категорії «предзбійної ситуації» з рангом, що дорівнює 0,9).

Однак спектру від 40 мм до 100 мм можна привласнити ранг 1, тобто при цих значеннях збій точно відбудеться.

Після значення 120 мм збій вважається виміряним, але поки що не відбувся, тому що відстань, яка відповідає терміну «збій», має знаходитися в діапазоні рангу від 0 до 1. Цей факт формує сигнал реєстрації «предзбійної ситуації». І чим більше величина відстані, тим менше стає його приналежність до відповідного терміну, тим ранг буде наближатися до 0 і частота реєстрованих вихідних сигналів датчика збільшується.

В результаті визначено нечітку множину, що відображає поняття збою для всього діапазону вимірювань датчика [17].

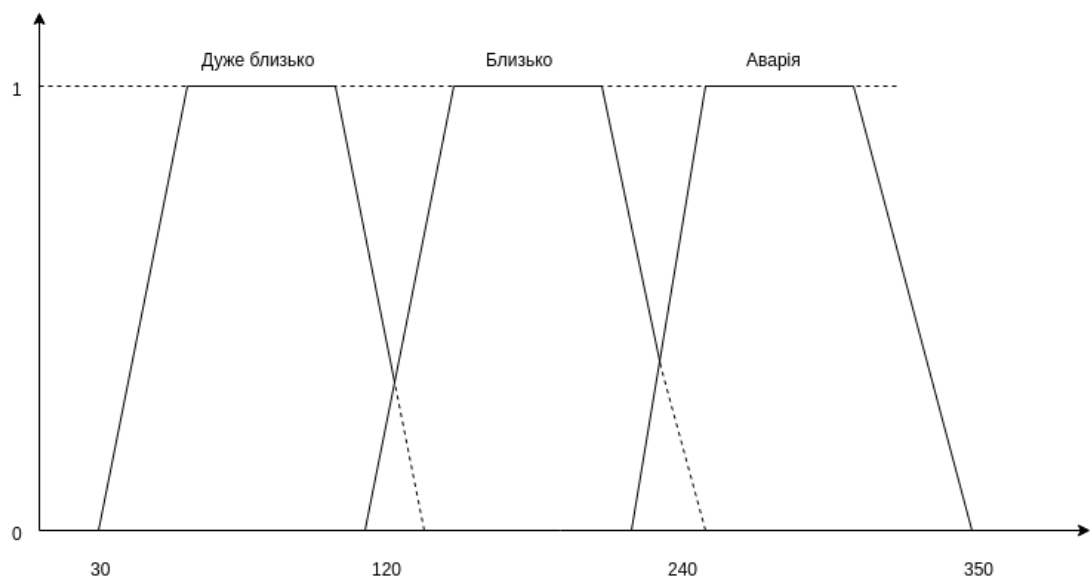


Рис. 2.4 Схема визначення нечіткої множини для датчика відстані.

Ступінь приналежності нечітким правилам визначається так званою функцією приналежності  $M(S)$ , де  $S$  - виміряне датчиком значення відстані [18]. В нашому випадку значення відстані 120 мм, отже можна задати ступінь приналежності для терміну «Дуже близько», а для терміну «Близько» - 240 мм (рис. 2.3.).

У таблиці 1 представлені фіксовані зв'язки між вхідними і вихідними параметрами нечітких правил.

Таблиця 2.1

**Таблиця нечітких правил ультразвукового датчика відстані**

Показники датчика				
		Близько	Дуже близько	Аварія
Фіксація вимірювань	Особлива	Реєстрація	Реєстрація	Реєстрація
	Звичайна	Немає реєстрації	Реєстрація	Реєстрація
	Не фіксувати	Немає реєстрації	Немає реєстрації	Немає реєстрації

Вісь ординат призначена для порівняння максимального значення функції членства з максимальним значенням внутрішнього реєстра мікроконтролера нечіткої логіки. Значення по осі абсцис відповідають оцінці членства множини, отриманої від модуля попередньої обробки: значення 0 вказує на відсутність членства, значення 0,9 обумовлює абсолютну приналежність, що дозволяє поєднати оцінку членства з числовим форматом реєстру мікроконтролера нечіткої логіки. Процес фазифікації закінчується тим, що виходить одна або кілька вхідних функцій членства з відповідними їм значеннями. Таким чином застосовується конкретний набір правил, а нечіткі вхідні функції відображаються і перетворюються в вихідні [19].

На рис. 2.5 представлені п'ять нечітких вихідних функцій членства для ультразвукового датчика, де перша функція відповідає стану - «немає реєстрації», друга - «реєстрація», третя - «реєстрація на низькій частоті», четверта - «реєстрація на високій частоті» і п'ята - «реєстрація на підвищеній частоті».

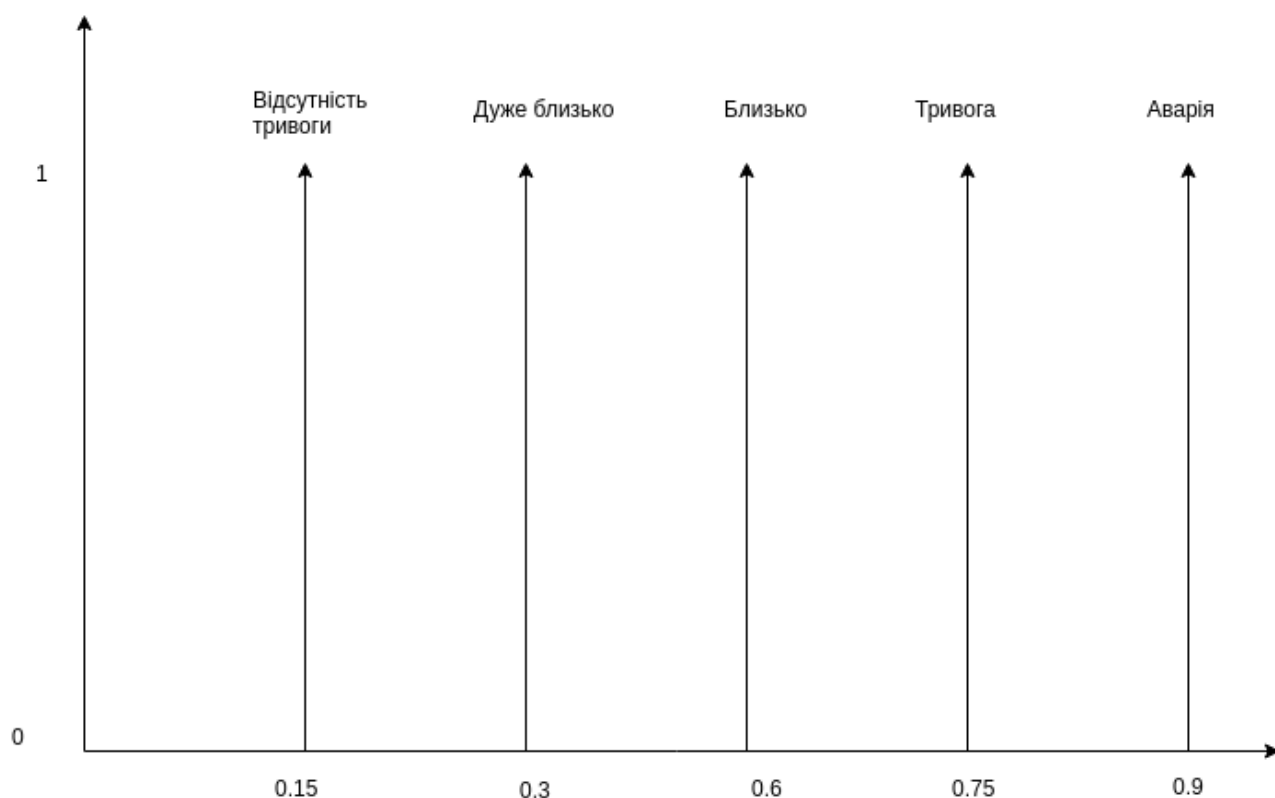


Рис. 2.5 Вихідні функції членства

У мікроконтролері нечіткої логіки HCS12 спрощений процес дефазифікації, який дозволяє для кожної вихідної функції з нечіткою логікою зіставити одне значення. Для перетворення вхідних у вихідні змінні в інтелектуальній платформі використовуються дев'ять правил фазифікації, результати представлені в таблиці 2.2 [20].

*Таблиця 2.2*

**Правила фазифікації ультразвукового датчика відстані**

Значення для профілю поведінки	Значення для ключових слів	Вихідні величини
Низьке	Низьке	Немає реєстрації
Низьке	Середнє	Низька частота реєстрації
Низьке	Високе	Реєстрація на високій частоті
Середнє	Низьке	Низька частота реєстрації
Середнє	Середнє	Середня частота реєстрації
Середнє	Високе	Реєстрація на високій частоті
Високе	Низьке	Середня частота реєстрації
Високе	Середнє	Реєстрація на високій частоті
Високе	Високе	Реєстрація на підвищеній частоті

Пошук здійснюється з використанням алгоритму мінімакса, тобто найбільше зі значень членства вхідних функцій відображається у відповідній вихідній функції.



Застосування і вибірка вхідних лінгвістичних змінних виявляються за правилами, де вихідна функція має більше двох значень. В цьому випадку отримується мінімальне значення. Далі, використовуючи всі вихідні функції і відповідні значення членства, проводиться процес дефазифікації, обчислюється центральне вихідне значення і вибірка режиму фіксації вимірювань ультразвукового датчика. Отримані значення вихідних функцій множаться на значення членства, обчислені за дев'ятьма правилами, результати складаються і сума ділиться на число членів (терм). Кінцеве числове значення і відповідне повідомлення відправляється на флеш-карту пам'яті, щоб зареєструвати ситуацію або подію користувачеві про стан події [20].

Недоліком управління для інженерів є трансляція алгоритмів і проектів нечіткої логіки на мову програмування і назад, а також їх динамічної зміни і корекції [21].

Коли код переведений на потрібну мову програмування, можна перетворювати програму в код для конкретного мікроконтролера. Цей код програмується окремо від датчика, а потім готова база рішень вноситься в програмне забезпечення мікроконтролера, і датчик починає працювати по внесеній програмі. Для внесення змін до програми працюючого датчика вона переписується по новому [22;23; 24; 25].

## 2.2 Розрахунок відстані та розробка алгоритму вимірювання

Ультразвуковий далекомір - пристрій, призначений для визначення відстані від датчика до об'єкта. В основі принципу вимірювання лежать явища прямого та зворотного п'єзоефекту та ехолокації. Під дією струму п'єзоелемент генерує ультразвукові хвилі, а потім «слухає» відлуння, створюючи вихідний електричний сигнал, як зображено на рис. 2.6

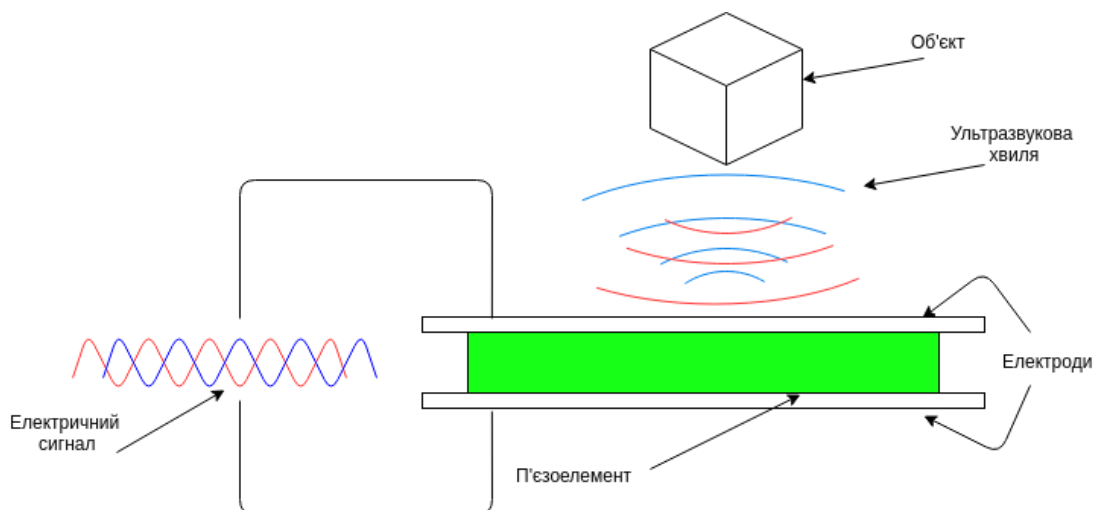


Рис. 2.6 Принцип роботи ультразвукового далекоміра

Таблиця 2.3

### Умовна класифікація далекомірів

Активні	Звукові
	Світлові
	Лазерні
Пасивні	Далекоміри, що використовують оптичний паралакс
	Далекоміри, що використовують зіставлення об'єкта з певним зразком, наприклад, нитковий далекомір

Принцип дії далекомірів активного типу однаковий для всіх пристроїв і полягає у вимірюванні часу, за який сигнал проходить відстань від передавача до приймача. Причому, швидкість поширення сигналу (швидкість

світла, звуку і т.д.) вважається відомою. Далекоміри звукового типу є найдешевшими і поширеними з усіх, які можна підключити до мікроконтролеру.

Далекомір генерує звукові хвилі з частотою 40 кГц. Після повернення відбитих від об'єкта хвиль, датчик видає інформацію про час, витрачений на проходження звуку від датчика до об'єкта і назад, як це показано на рис. 2.7.

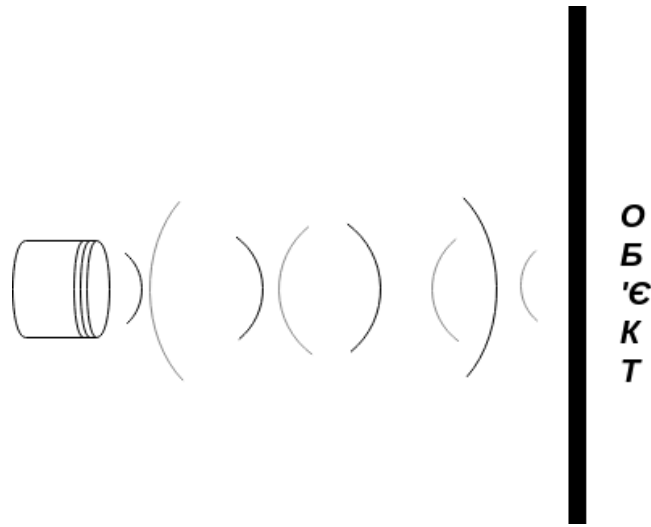


Рис. 2.7 Поширення ультразвукової хвилі

У порівнянні з іншими типами перетворювачів, на показання ультразвукових далекомірів не впливають фізичні властивості об'єктів дослідження, наприклад колір, прозорість чи засвічення від сонця. Натомість можуть виникнути труднощі з визначенням відстані до пухнастих або дрібних предметів. На точність вимірювання значний вплив має кут падіння хвилі. Якщо датчик спрямований перпендикулярно об'єкту, точність вимірювання максимальна. А якщо, кут падіння буде занадто великим, то хвиля, відбившись від об'єкта, не повернеться на приймач, що призведе до некоректного результату вимірювання [26].

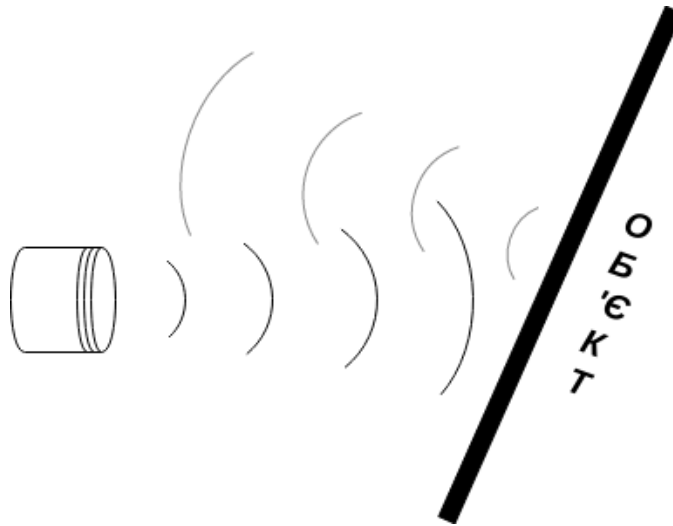


Рис. 2.8 Поширення ультразвукової хвилі під кутом

Далі, перейдемо до розрахунку відстані від датчика до об'єкта. Сам перетворювач не здійснює жодних розрахунків, а лише видає імпульс певної тривалості. Розрахунок відстані відбувається в мікроконтролері на підставі отриманого часу і обчислюється за такою формулою:

$$S = vt; \quad t = T/2; \quad \Rightarrow \quad S = vT/2 \quad (2.1)$$

де,  $v$  - швидкість звуку ( $\approx 340$  м / с);  $t$  - час руху хвилі від датчика до об'єкта.  $T$  - час руху хвилі від датчика до об'єкта і назад.

Для вимірювання тривалості сигналу використовується таймер. Він налаштований таким чином, що 1 розряд дорівнює 0,000001 с. Отже, формула матиме наступний вигляд:

$$S = vT/2; \quad \Rightarrow \quad S = vT10^{-6}/2 \quad (2.2)$$

де,  $T_{\text{вт}}$  - кількість відліків таймера в мкс.

Остаточна форма буде виглядати таким чином:

$$S = 340 \cdot T_{\text{вт}} 10^{-6} / 2 = 170 \cdot T_{\text{вт}} / 10^{-6} \quad (2.3)$$

Для зручності користувача, в даному діапазоні зручніше вимірювати відстань в сантиметрах:

$$S_{\text{ст}} = 17 \cdot T_{\text{вт}} / 10^{-3} \quad (2.4)$$

В результаті за допомогою однієї простої формули, можна розрахувати відстань до об'єкта в сантиметрах:

$$S_{\text{ст}} = 0,017 \cdot T_{\text{вт}} \quad (2.5)$$

Однак в мікроконтролері не передбачені операції над числами з плаваючою точкою. Тому для обчислення відстані необхідно використовувати формулу (4). Або замінити число 0,017 на обернене:

$$S_{\text{ст}} = T_{\text{вт}} / 58,8 \quad (2.6)$$

Формулу (6) можна знайти в документації, але з округленням до 58 [26].

Вищенаведені формули дозволяють здійснювати коректне вимірювання відстані, але задля підвищення точності вимірювання, необхідно врахувати температуру навколишнього середовища, в якій проводяться вимірювання. Зміна температури призводить до зміни швидкості звуку в газах. При підвищенні температури повітря на 1 ° С, швидкість звуку в ньому збільшується на 0,6 м / с. Графік залежності швидкості звуку від температури наведено на рис. 2.9, а в таблиці 2.4 наведені деякі значення.

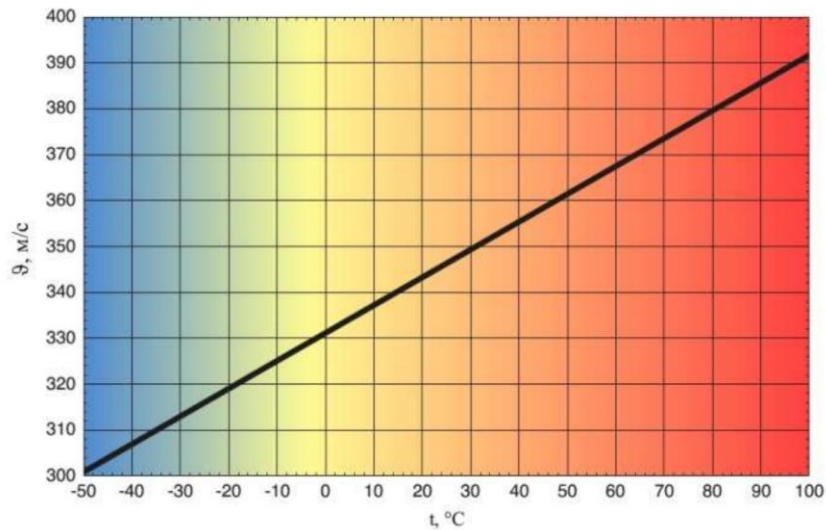


Рис. 2.9 Залежність швидкості звуку від температури

Таблиця 2.4

**Швидкість звуку при певній температурі**

$t, ^\circ\text{C}$	-20	-10	0	10	20	30
$v, \text{м/с}$	318,8	325,1	331,5	337,3	343,1	348,9

Враховуючи наведені данні, задля підвищення точності вимірювання, доцільно додати в систему вимірювання температурний датчик і використовувати результати його вимірювань для внесення поправки на зміну температури навколишнього середовища.

Для підключення ультразвукового далекоміра до мікроконтролера, перш за все потрібно ознайомитися з характеристиками обраного модуля:

- напруга живлення +5 В;
- споживання в режимі тиші 2 мА;
- споживання при роботі 15 мА;
- діапазон вимірювань від 2 до 400 см;
- ефективний кут вимірювання  $15^\circ$ ;
- розміри 45x20x15 мм.

На платі є 4 виводи:

- $V_{cc}$  – живлення +5 В;

- Gnd - заземлення;
- Trig - запуск датчика;
- Echo - результати вимірювання.

Данні виводу мікроконтролера, при підключенні, повинні підтримувати можливість роботи з +5В рівнями [27]. Принцип дії датчика. Перед початком роботи потрібно встановити в «0» виводи «Echo» і «Trig». Для запуску процесу вимірювання, необхідно подати на вивід «Trig», імпульс тривалістю 10 мкс. Повторювати вимірювання можна лише через 50 мс. Для генерації ультразвукової хвилі на передавач надходять 8 коротких імпульсів. По завершенню генерації серії звукових хвиль, вивід «Echo», встановлюється в «1». Вивід «Echo» встановлюється в «0», після відображення серії хвиль від об'єкта і повернення на приймач. Результатом вимірювання є імпульс, тривалість якого дорівнює часу проходження звуку від датчика до об'єкта та назад, а знаючи цей час можна визначити відстань. Тривалість даного імпульсу лежить в межах від 118 мкс до 24 мс. На рис. 2.10, показана часова діаграма сигналів далекоміра [28].

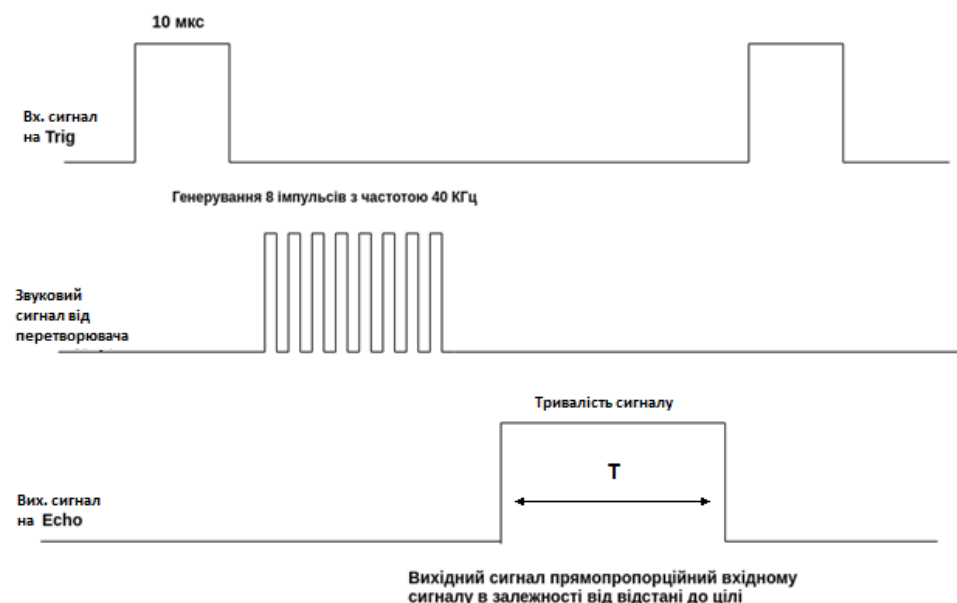


Рис. 2.10 Часова діаграма сигналів далекоміра

Використання мікроконтролера дозволяє підраховувати тривалості імпульсу, який прийшов з виводу «Echo» кількома способами, а в нашому

випадку запропоновано спосіб вимірювання за допомогою таймера без переривань. Для його застосування потрібно налаштувати один з каналів таймера в режимі захоплення. У цьому режимі, таймер записує в рахунковий регістр тривалість вхідного імпульсу в тактах. Для формування сигналу, що запускає на «Trig», необхідно налаштувати будь-який інший вивід на вихід. Налаштований вивід формує імпульс тривалістю 10 мкс [4]. Щоб переконатися, в правильній роботі датчика, розглянемо осцилограми реальних сигналів з модуля. Імпульс, що запускає роботу датчика, наведено на рис. 2.11. Для перевірки розрахуємо теоретичне значення часу і порівняємо з реальним сигналом датчика. Використовуючи формулу (2.1), розрахуємо тривалість імпульсу, при вимірюванні відстані в 30 і 100 см.

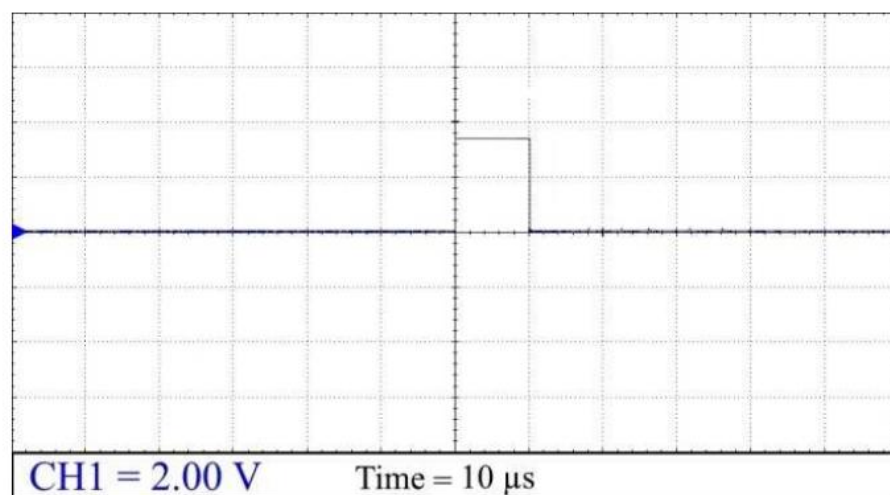


Рис. 2.11 Сигнал, що подається мікроконтролером на вхід «Trig»

$$S = vT/2; \Rightarrow T = 2S/v \quad (2.7)$$

При 30 см:

$$T = 2 \cdot 0.3 / 340 = 1764 \cdot 10^{-6} \text{ c} = 1764 \text{ мкс}$$

При 100 см:

$$T = 2 \cdot 1 / 340 = 5882 \cdot 10^{-6} \text{ c} = 5882 \text{ мкс}$$

На рис. 2.12 і 2.13 можна побачити реальну тривалість імпульсів, при вимірюванні відстані в 30 і 100 см і порівняти її з теоретичною, а також,



простежити зміну тривалості імпульсу з виходу «Echo», в залежності від відстані, що вимірюється .

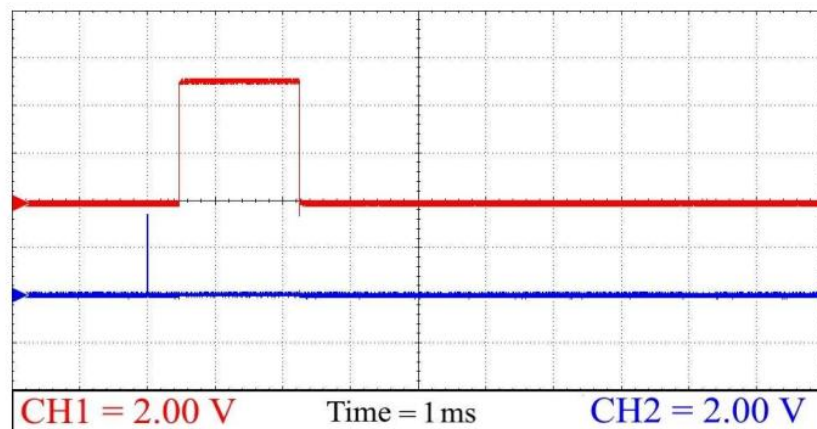


Рис. 2.11 Сигнал на виході «Echo» з тривалістю пропорційною відстані в 30 см (червоний) і сигнал на вході «Trig» (синій)

На рис. 2.13 можна наочно простежити роботу датчика, від моменту подачі імпульсу, що запускає цикл, до моменту генерації серії ультразвукових хвиль і формування тимчасового імпульсу. Як можна побачити, реальна картина сигналів схожа на сигнали з рис. 2.10, з документації.

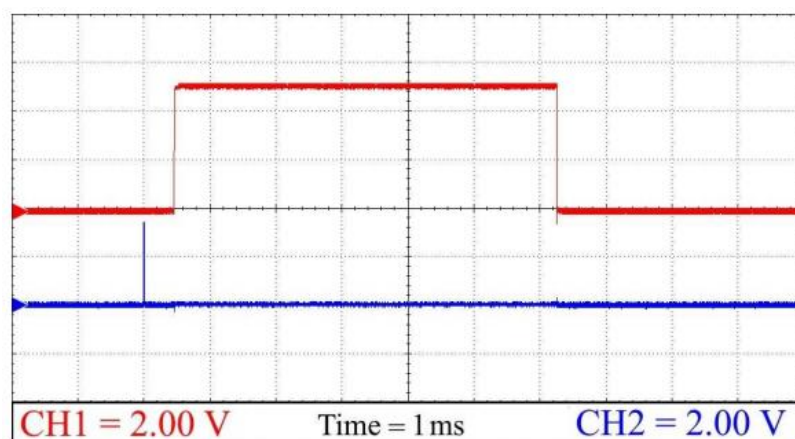


Рис. 2.12 Сигнал на виході «Echo» з тривалістю пропорційною відстані в 100 см (червоний) і сигнал на вході «Trig» (синій)

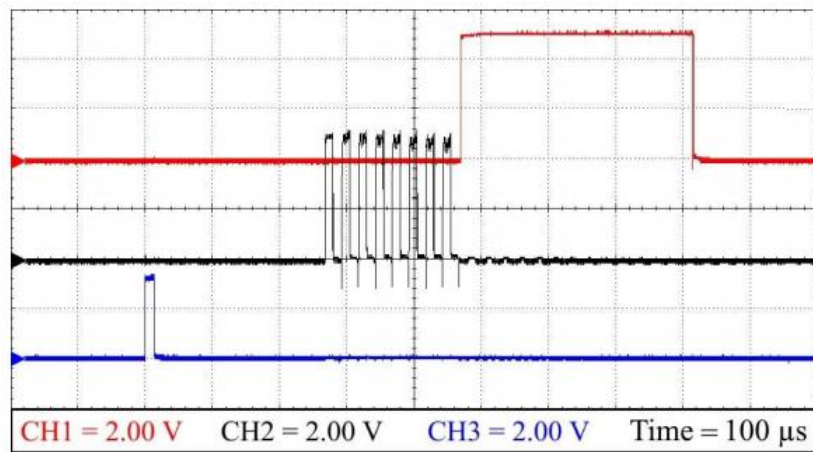


Рис. 2.13 Вид трьох сигналів знятих з входу «Trig» (синій), з модуля при генерації звукового сигналу (чорний) і з виходу «Echo» (червоний)

Спроекований датчик здатний вимірювати відстань в діапазоні від 0,02 до 4 метрів з оптимальним кутом 45 градусів, як показано на рис. 2.14. Для розширення загального кута, система передбачає використання чотирьох перетворювачів, які будуть раціонально розміщені по периметру транспортного засобу, що дозволить досягти розширення огляду до 180-ти градусів [17].

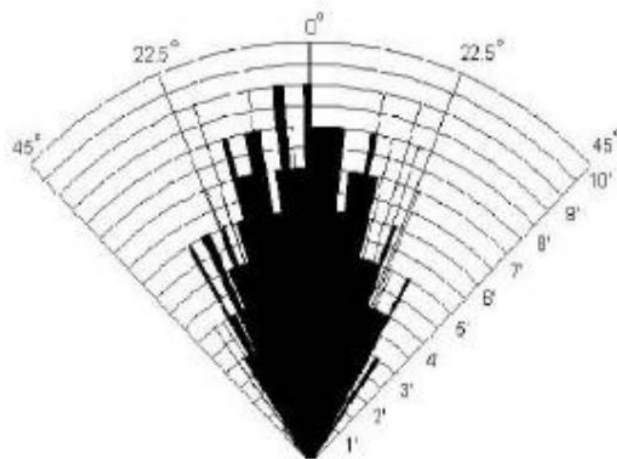


Рис. 2.14 Діаграма направленості ультразвукового перетворювача

Після того, як принцип роботи модуля вивчений, а сам модуль підготовлений до роботи, можна створювати код програми. Код програми з

необхідними коментарями наведено в **додатку А**, блок-схема представлена на рис. 2.15.

Алгоритм програми:

1. Проводиться налаштування всіх компонентів системи (активація дисплею та ультразвукових датчиків).
2. Генерування звукової хвилі п'єзопластиною. Одночасно з цим починається запуск таймера.
3. Зчитування відбитого від об'єкта сигналу, після чого таймер зупиняється.
4. Обчислення відстані до об'єкта.
5. Затримка в 10 мкс, для запобігання впливу від попередньої операції.
6. Перевірка на наявність перешкоди в діапазоні перетворювача.
7. Якщо перешкоду зафіксовано, то інформація про відстань до неї виводиться на дисплей приладу виведення інформації зі звуковим сигналом відповідної частоти, після чого повернутися до п.2 (повтор пп. 2-8).
8. Якщо ні, повернутися до п. 2 (повтор пп. 2-8).

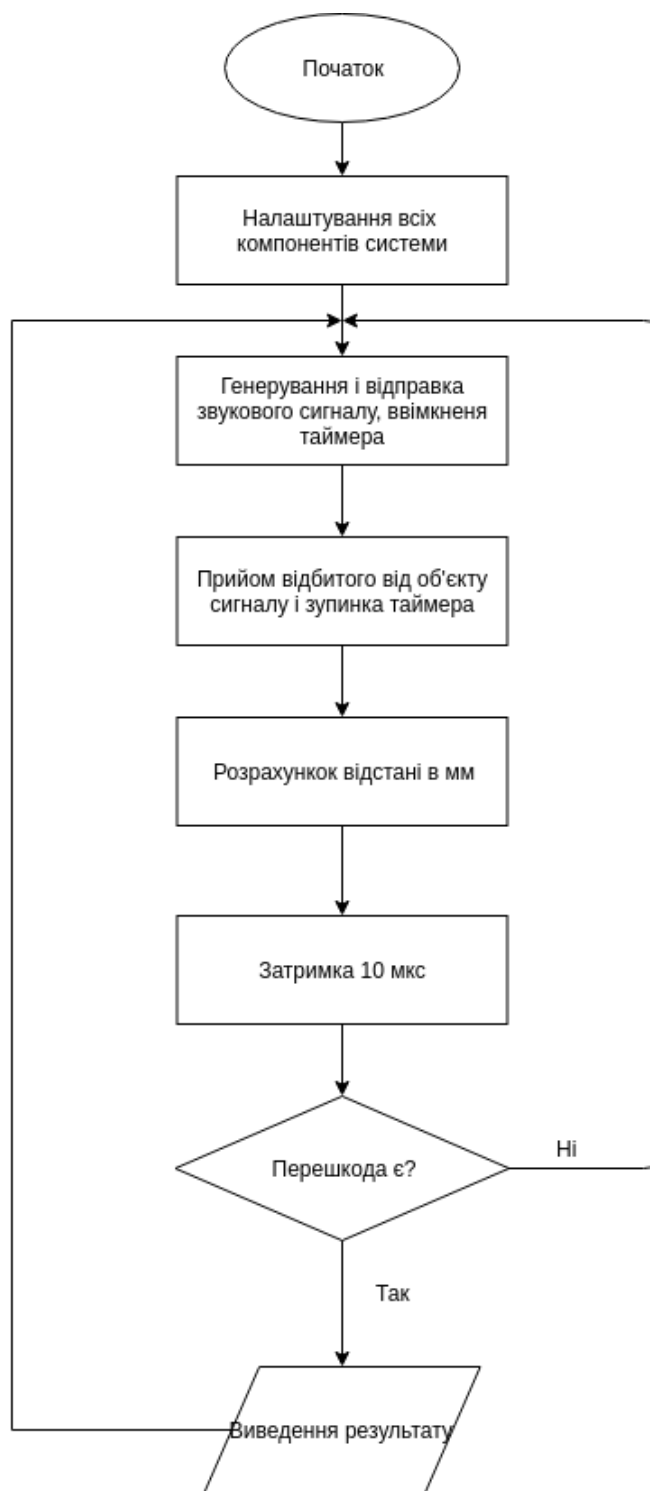


Рис. 2.15 Алгоритм роботи програми

## 2.3 Розробка математичної моделі ультразвукового перетворювача

Велике значення має вибір перетворювачів сигналу для будь-якої системи збору та обробки інформації, особливо у вимірюванні відстані, коли ультразвукові перетворювачі є одними з основних компонентів системи.

Особливу увагу при виборі перетворювача слід приділити умовам контролю, в першу чергу властивостям середовища і умовам взаємодії перетворювачів з об'єктом контролю [30].

Не менш важливим є і вибір конфігурації перетворювача, коли вибирають між фокусуючими перетворювачами і перетворювачами зі змінними захисними насадками, які захищають робочу поверхню, або розглядають різні різновиди цих перетворювачів. При цьому важливо, щоб перетворювач мав необхідну частоту, відповідав вимірювальному середовищу і мав правильний розмір активного елементу.

У загальному випадку під ультразвуком розуміють випромінювання на частоті вище 20 кГц, однак при ультразвуковому дослідженні використовують діапазон від 100 кГц до 50 мГц [31].

Частоту випромінювання визначають як:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (2.8)$$

де  $f$  - частота;  $T$  - період незгасаючої хвилі.

Швидкість поширення звуку в повністю пружному матеріалі при одній температурі і тиску постійна:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad \lambda = cT, \quad (2.9)$$

де  $\lambda$  - довжина хвилі;  $c$  - швидкість звуку;  $f$  - частота;  $T$  - період.

Однак спочатку слід визначити характер випромінюваної хвилі (поздовжня або поперечна). При ультразвуковому дослідженні використовуються і поздовжні, і поперечні хвилі, а також в спеціальних випадках - поверхневі (релеєвському) і плоскі хвилі (хвилі Лемба).

Чим менше довжина хвилі, тим більше на неї впливає середовище поширення.

Відомо [32], що при застосуванні для ультразвукового дослідження поперечної хвилі чутливість до дрібних перешкод підвищується, а затухання з відстанню збільшується, отже в разі вимірювання відстані потрібне застосування випромінювача поздовжньої хвилі, яка має менший коефіцієнт загасання.

При проведенні ультразвукового дослідження вимірюються дві величини: час прольоту (час проходження ультразвукової хвилі) і амплітуда прийнятого сигналу. Ці параметри визначені наступним співвідношенням:

$$T = \frac{ct}{2} \quad (2.10)$$

де  $T$  - товщина матеріалу;  $c$  - швидкість звуку в матеріалі;  $t$  - час прольоту.

Для вимірювання щільності матеріалу за величиною загасання або для виявлення дефектів використовують дані про відносну зміну амплітуди сигналу, яка виражається в децибелах і визначають логарифмічно виходячи зі співвідношення двох сигналів:

$$dB = 20 \log_{10} \left( \frac{A_1}{A_2} \right), \quad (2.11)$$

де  $dB$  - децибели;  $A_1$  - амплітуда першого сигналу;  $A_2$  - амплітуда другого сигналу.

Приклади коефіцієнта ослаблення сигналу для різноманітних співвідношень  $\frac{A_1}{A_2}$  наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5

**Коефіцієнт послаблення сигналу**

$A_1, \% / A_2, \%$	Коефіцієнт	$dB$
$\frac{100}{70,71}$	1,4142	3
$\frac{100}{50}$	2	6
$\frac{100}{25}$	4	12
$\frac{100}{10}$	10	20
$\frac{100}{1}$	100	40

Ґрунтуючись на вищевикладеному, з метою уточнення результатів зробимо додаткові розрахунки частоти використовуваного випромінювача.

При проведенні ультразвукового сканування отримана наступна форма хвилі (рис. 2.16) [33].

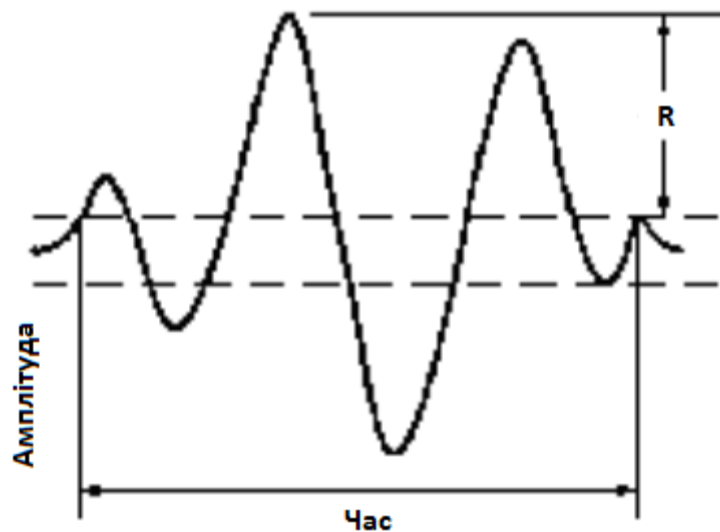


Рис. 12.16 Хвиля на рівні 6 дБ (50% -й пік амплітуди)

Форма хвилі датчика і спектральний аналіз виконуються відповідно до визначень і умовами проведення тесту ASTM E1065. Зазвичай для частотного аналізу в якості одиниць виміру використовуються мегагерци, для аналізу форми хвилі - мікросекунди і для визначення піку амплітуди - децибели [30].

Зі збільшенням частоти амплітуда вихідного сигналу зростає. Тут слід звернути увагу на верхній і нижній межі частоти. При досягненні нижньої межі коефіцієнт ослаблення стає рівним 2, тобто ми маємо 6-децибеловий сигнал (рис. 2.17). При досягненні верхньої межі коефіцієнт починає монотонно падати. Таким чином, нас цікавить тільки цей 6-децибеловий діапазон.



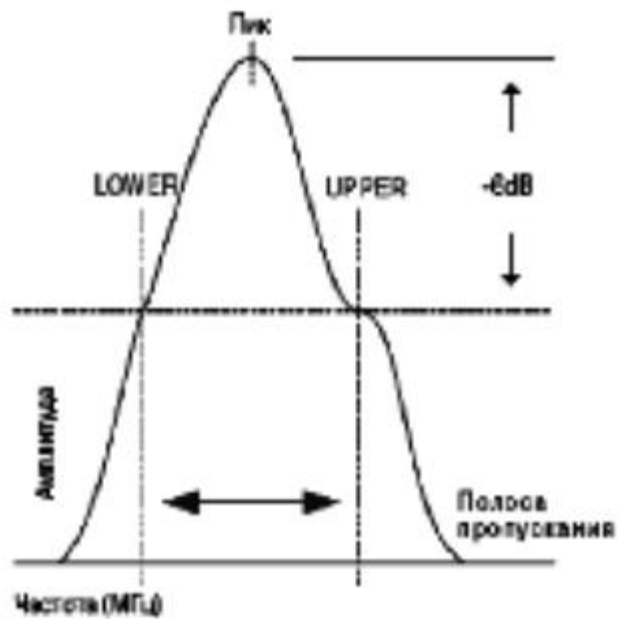


Рис. 2.17 Пік частоти проходження для досліджуваного матеріалу

Відомо співвідношення між мегагерцовою смугою пропускання і тривалістю проходження хвилі (рис. 2.18) [30]. У цьому співвідношенні розкид на -40дБ більше, так як 1%-ий задній кінець форми хвилі містить дуже невелику кількість звукової енергії і тому надає дуже малий вплив на аналіз смуги пропускання. Через розсіювання це найбільш підходящий варіант для точного визначення форми хвилі за проміжок часу, мкс, і спектрів у частотній області.

Грунтуючись на даних рис. 2.18, можна визначити частоту датчика.

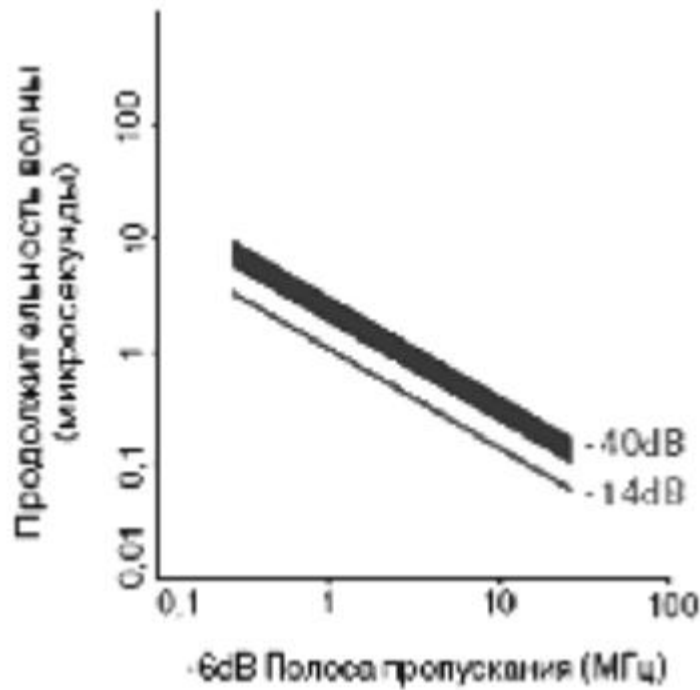


Рис. 2.18 Довжина хвилі і смуга пропускання

На рис. 2.18 смуга пропускання від 1 до 1,2 МГц співвідноситься приблизно з 1 мкс - 14-децибелової протяжності довжини хвилі. Беручи номінальний 50 відсотковий фракційний широкосмуговий датчик, отримуємо середню номінальну частоту від 2 до 2,4 МГц. Тому може бути використаний датчик частотою 2,25 МГц або 3,5 МГц.

Не менш важливі дослідження акустичного імпедансу матеріалу, який є показником протидії зсуву його частинок звуком:

$$Z = \rho c, \quad (2.12)$$

де  $Z$  - акустичний імпеданс;  $\rho$  - щільність матеріалу;  $c$  - швидкість звуку в матеріалі.

Межа між двома матеріалами з різними акустичним імпедансом називається акустичної кордоном.

При нормальному падінні звуку в акустичну кордон частину звукової енергії відбивається, а інша частина продовжує своє переміщення в матеріалі. Втрата енергії, дБ, при проходженні сигналу з середовища 1 в середовище 2 розраховується наступним чином:

$$dB_{loss} = 20 \log_{10} \left( \frac{4Z_1 Z_2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right), \quad (2.13)$$

де  $Z_1$  - акустичний імпеданс першого середовища;  $Z_2$  - акустичний імпеданс другого середовища.

Необхідно врахувати втрату енергії децибелового сигналу в середовищі 1 при відображенні від акустичної межі із середовищем 2:

$$dB_{loss} = 20 \log_{10} \left( \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2} \right), \quad (2.14)$$

при  $Z_2 > Z_1$  відбувається переворот форми хвилі.

У середовищі збільшується загасання ультразвуку. При відсутності значних відбивачів виділяють три варіанти загасання:

- переломлення;
- розсіювання;
- поглинання.

Характеристики загасання ультразвуку в середовищі мають важливе значення при виборі датчика ультразвукового контролю. Для виявлення цих характеристик розглянемо звукове поле, чутливість і фокусну зону датчика.

Звукове поле датчика (рис. 2.19) описується наступними виразами:

$$N = \frac{D^2 f}{4C} \quad (2.15)$$

$$N = \frac{D^2}{4\lambda} \quad (2.16)$$

де  $N$  - довжина ближнього поля;  $D$  - діаметр елемента;  $f$  - частота;  $C$  - швидкість звуку;  $\lambda$  - довжина хвилі.

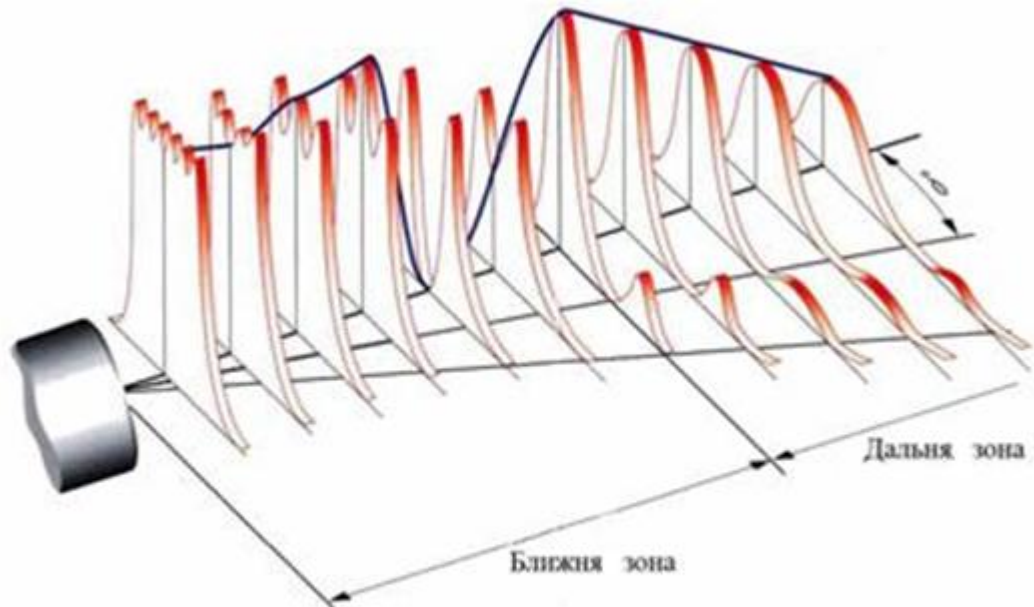


Рис. 2.19 Звуковий поле датчика

Чутливість датчика визначається діаметром звукового променя в потрібній точці:

$$BD = \frac{1,02Fc}{fD}, \quad (2.17)$$

$$BD = 0.2568DS_F, \quad (2.18)$$

де  $B_D$  - діаметр променя;  $F$  - фокусна відстань;  $c$  - швидкість звуку в матеріалі;  $f$  - частота,  $D$  - діаметр елемента;  $S_F$  - нормоване фокусна відстань.

Для визначення фокусної зони датчика (рис. 2.20) розглянемо початкову і кінцеву точки, які розташовані в точці падіння амплітуди сигналу «імпульс - ехо» до -6-децибеловой амплітуди в точці фокусу (рис. 2.21). Довжина фокусної зони обчислюється за формулою

$$BD = 0.2568DS_F, \quad (2.19)$$

де  $F$  - фокусна зона;  $N$  - ближнє поле;  $S_F$  - нормоване фокусна відстань.

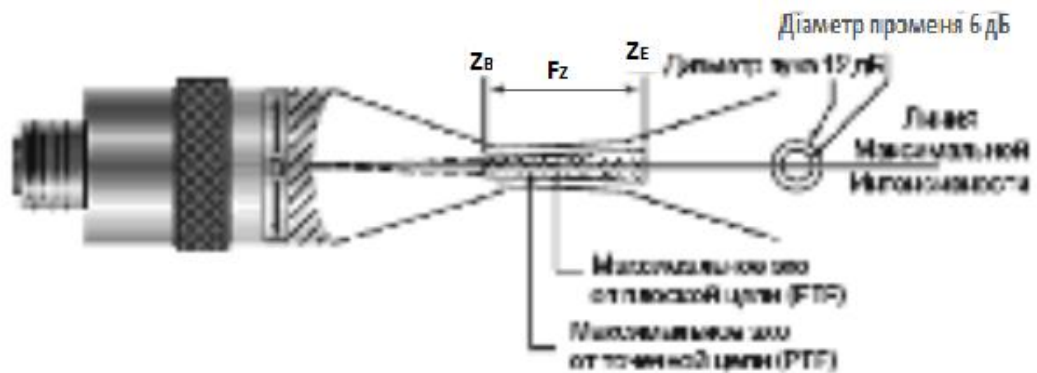


Рис. 2.20 Фокусна зона датчика:  $Z_B$  - початок фокусної зони;  $F_Z$  - фокусна зона;  $Z_E$  - кінець фокусної зони;  $D$  - діаметр елемента

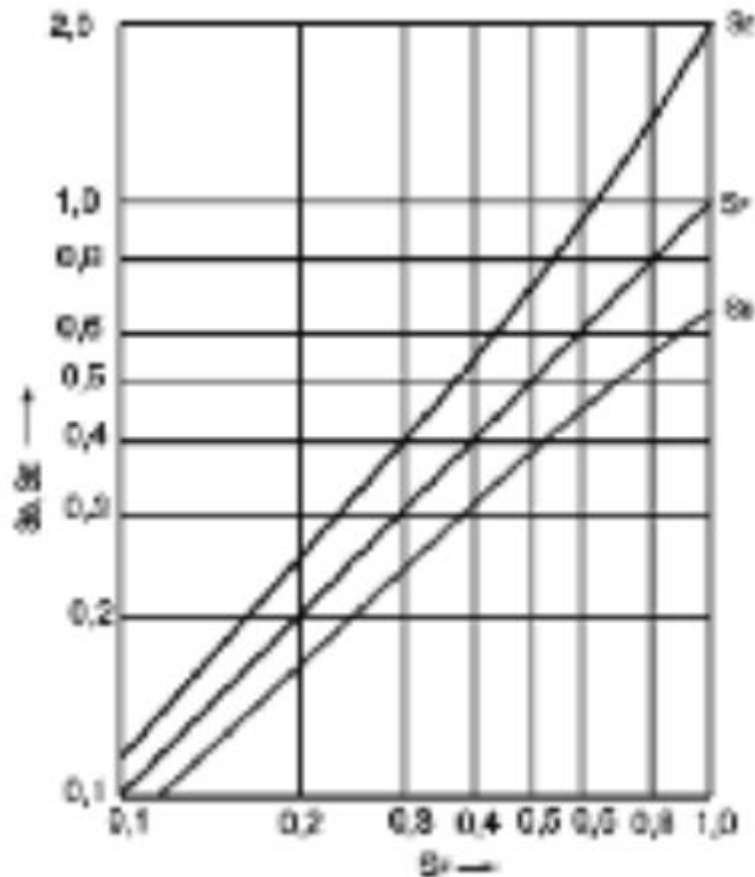


Рис. 2.21 Кінцева і початкова точки фокусної зони -6 дБ при вимірюванні амплітуди сигналу

Всі звукові хвилі розсіюються, і це характерно для будь-якого датчика. У ближньому полі звуковий промінь має складну форму, а в далекому він розсіюється (рис. 2.22).

Кут поширення променя плоского датчика -6-децибелового імпульсу розраховується наступним чином:

$$\sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) = 0,514 \frac{c}{fD} \quad (2.20)$$

де  $\alpha / 2$  - половина кута розсіювання звуку між точками -6 дБ.

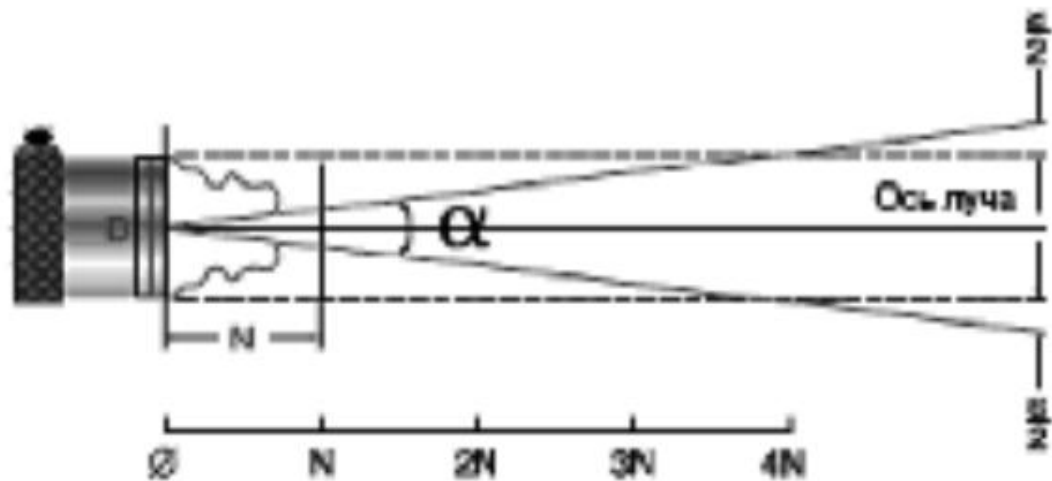


Рис. 2.22 Відхилення променю і половинний кут

Таким чином, кут розсіювання звуку можна варіювати, змінюючи частоту і діаметр датчика, на чому заснована робота датчиків ультразвукового контролю.

Розрізняють роздільні, суміщені і роздільно-суміщені датчики. В останньому випадку на одній конструкції розміщують вмонтовані в окремі лінії затримки передає і приймає елементи, які знаходять основний імпульс досить просто. А якщо лінії затримки розташовані під кутом, то інформація про фокусну відстань такого датчика достатня для визначення проникаючої здатності звукового променю. Тому роздільно-суміщені датчики знайшли більш широке застосування при дослідженні неоднорідних матеріалів.

Таким чином, математична модель перетворювача ультразвукового сигналу адекватно описується виразами (2.8) ... (2.19).

При ультразвуковому вимірюванні відстані, згідно з наведеними вище розрахунками, доцільно застосовувати ультразвуковий датчик з робочою частотою близько 40 кГц і діаметром 12 мм. Крім того, необхідна подальша розробка методики проведення досліджень і реалізація експериментального зразка мікропроцесорної системи на основі високопродуктивного мікропроцесора з нечіткою логікою.

## 2.4 Порівняння показань зразкового і розробленого пристроїв

Для визначення характеристик приладу була проведена серія експериментальних досліджень вимірювання відстані зразковим приладом і розробленим пристроєм в однакових умовах. В якості зразкового пристрою було використано лазерний далекомір фірми Xiaomi, зображений на рис 10.

Технічні характеристики даного приладу дають можливість вимірювати відстань від 0,5 до 18 метрів з точністю  $\pm 0.5\%$ .



Рис. 2.23 Лазерний далекомір



Дослідження проводилися на всьому робочому діапазоні вимірювань приладу, тобто, від 0.02 м до 4 м з кроком 0.2 м. Результати вимірювань наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Результати вимірювань

№	Покази повірюваного перетворювача	Покази зразкового приладу	
		При збільшенні $S_{0\text{ зб}}$	При зменшенні $S_{0\text{ зм}}$
1	20	21	21
2	39	40	40
3	60	61	61
4	78	79	80
5	98	100	101
6	117	119	118
7	136	138	139
8	157	159	158
9	176	178	177
10	197	198	199
11	216	218	219
12	236	239	238
13	257	259	260
14	278	279	280
15	301	302	303
16	319	320	303
17	337	339	338
18	358	359	359
19	376	379	378
20	396	399	399

## 2.5 Розрахунок основних метрологічних характеристик

Для отримання об'єктивної оцінки точності вимірювання розробленого перетворювача, необхідно розрахувати основні метрологічні характеристики, а саме:

- абсолютну похибку;
- відносну похибку;
- наведену похибку;
- варіацію.

Для розрахунку абсолютної похибки використовують формулу різниці між показаннями повірюваного пристрою і зразкового:

$$\Delta S_{зб} = S - S_{0 зб},$$

$$\Delta S_{зм} = S - S_{0 зм}, \quad (2.21)$$

де відповідно до таблиці 2.6,  $S$  - показники повірюваного пристрою,  $S_{0 зб}$  - показники зразкового пристрою при збільшенні показників у діапазоні,  $S_{0 зм}$  - показники зразкового пристрою при зменшенні показників у діапазоні [9].

У таблиці 2.7 наведені розраховані по модулю значення абсолютної похибки для всього діапазону вимірювань.

Таблиця 2.7

Результати розрахунку абсолютної похибки

№	Покази повірюваного перетворювача	Покази зразкового приладу		Абсолютна похибка, см	
		При збільшенні	При зменшенні	При збільшенні	При зменшенні

		$S_{0\ 36}$	$S_{0\ 3M}$	$S_{0\ 36}$	$S_{0\ 3M}$
1	20	21	21	1	1
2	39	40	40	1	1
3	60	61	61	1	1
4	78	79	80	1	2
5	98	100	101	2	3
6	117	119	118	2	1
7	136	138	139	3	2
8	157	159	158	2	2
9	176	178	177	2	1
10	197	198	199	2	2
11	216	218	219	2	3
12	236	239	238	3	2
13	257	259	260	2	3
14	278	279	280	1	2
15	301	302	303	1	2
16	319	320	303	1	2
17	337	339	338	2	1
18	358	359	359	1	1
19	376	379	378	3	2
20	396	399	399	3	3

Для розрахунку відносної похибки використовується наступна формула:

$$\delta = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\% \quad (2.22)$$

Для розрахунку даної похибки з кожної пари вибирається найбільше значення абсолютної похибки по модулю. Якщо абсолютна похибка вимірюється в одиницях вимірюваної величини, то одиницями відносної похибки є відсотки.

Таблиця 2.8

Результати розрахунку відносної похибки

№	Покази повірюваног о перетворюва ча	Покази зразкового приладу		Похибка, см		
				Абсолютна похибка, см		Відносн а $\delta$ , %
		При збільшенн і $S_{0\text{ зб}}$	При зменшенн і $S_{0\text{ зм}}$	При збільшенн і $S_{0\text{ зб}}$	При зменшенн і $S_{0\text{ зм}}$	
1	20	21	21	1	1	5
2	39	40	40	1	1	2,6
3	60	61	61	1	1	1,7
4	78	79	80	1	2	2,6
5	98	100	101	2	3	3,1
6	117	119	118	2	1	1,7
7	136	138	139	3	2	2,2
8	157	159	158	2	2	1,3
9	176	178	177	2	1	1,1
10	197	198	199	2	2	1,1
11	216	218	219	2	3	1,4
12	236	239	238	3	2	1,3
13	257	259	260	2	3	1,2
14	278	279	280	1	2	0,6
15	301	302	303	1	2	0,6
16	319	320	303	1	2	0,6
17	337	339	338	2	1	0,6

18	358	359	359	1	1	0,3
19	376	379	378	3	2	0,8
20	396	399	399	3	3	0,8

Для розрахунку приведеної похибки використовується схожа формула, але в ній використовується нормоване значення повірюваного пристрою на всьому діапазоні вимірювань  $S_N$  замість показів повірюваного пристрою  $S$ .

$$\gamma = \frac{\Delta S}{S} \cdot 100\% \quad (2.23)$$

В даному випадку нормоване значення дорівнюватиме  $S_N = 400$ .

Результати розрахунків зведеної похибки показані в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9

Результати розрахунків приведеної похибки

№	Покази повірювано го перетворюю- вача	Покази зразкового приладу		Похибка, см			
				Абсолютна похибка, см		Віднос на $\delta$ , %	Привед ена $\gamma$ , %
		При збільшен ні $S_{0\text{ зб}}$	При зменшен ні $S_{0\text{ зм}}$	При збільшен ні $S_{0\text{ зб}}$	При зменшен ні $S_{0\text{ зм}}$		
1	20	21	21	1	1	5	0,25
2	39	40	40	1	1	2,6	0,25
3	60	61	61	1	1	1,7	0,25
4	78	79	80	1	2	2,6	0,5
5	98	100	101	2	3	3,1	0,75
6	117	119	118	2	1	1,7	0,5
7	136	138	139	3	2	2,2	0,75

8	157	159	158	2	2	1,3	0,5
9	176	178	177	2	1	1,1	0,5
10	197	198	199	2	2	1,1	0,75
11	216	218	219	2	3	1,4	0,75
12	236	239	238	3	2	1,3	0,75
13	257	259	260	2	3	1,2	0,5
14	278	279	280	1	2	0,6	0,5
15	301	302	303	1	2	0,6	0,5
16	319	320	303	1	2	0,6	0,5
17	337	339	338	2	1	0,6	0,5
18	358	359	359	1	1	0,3	0,5
19	376	379	378	3	2	0,8	0,5
20	396	399	399	3	3	0,8	0,75

Останнім кроком у визначенні метрологічних характеристик для розробляється приладу є варіація. Варіація визначається як «абсолютне значення різниці дійсних значень вимірюваної величини при одному і тому самому показникові приладу, отриманому при плавному підході показника спочатку з боку менших, а потім з боку великих значень [7].

Формула для розрахунку варіації наступна:

$$H = \frac{|\Delta S_{зб} - \Delta S_{зм}|}{S_N} \cdot 100\% , \quad (2.24)$$

Всі результати розрахунків при визначенні метрологічних характеристик розроблюваного устрою наведені в таблиці 2.10.

*Таблиця 2.10*

Результати розрахунків основних метрологічних характеристик  
приладу

№	Покази повірюва ного перетвор ю-вача	Покази зразкового приладу		Похибка, см				
				Абсолютна похибка, см		Віднос на $\delta$ , %	Прив еден а $\gamma$ ,%	Варіація $H$ ,%
		При збільше нні $S_{0\text{ зб}}$	При зменше нні $S_{0\text{ зм}}$	При збільше нні $S_{0\text{ зб}}$	При зменше нні $S_{0\text{ зм}}$			
1	20	21	21	1	1	5	0,25	0
2	39	40	40	1	1	2,6	0,25	0
3	60	61	61	1	1	1,7	0,25	0
4	78	79	80	1	2	2,6	0,5	0,25
5	98	100	101	2	3	3,1	0,75	0,25
6	117	119	118	2	1	1,7	0,5	0,25
7	136	138	139	3	2	2,2	0,75	0,25
8	157	159	158	2	2	1,3	0,5	0
9	176	178	177	2	1	1,1	0,5	0,25
10	197	198	199	2	2	1,1	0,75	0
11	216	218	219	2	3	1,4	0,75	0,25
12	236	239	238	3	2	1,3	0,75	0,25
13	257	259	260	2	3	1,2	0,5	0,25
14	278	279	280	1	2	0,6	0,5	0,25
15	301	302	303	1	2	0,6	0,5	0,25
16	319	320	303	1	2	0,6	0,5	0,25
17	337	339	338	2	1	0,6	0,5	0,25
18	358	359	359	1	1	0,3	0,5	0
19	376	379	378	3	2	0,8	0,5	0,25
20	396	399	399	3	3	0,8	0,75	0

На рис. 2.24 і 2.25 зображені свідчення вивіреного і зразкового приладів зі збільшенням відстані до об'єкта.

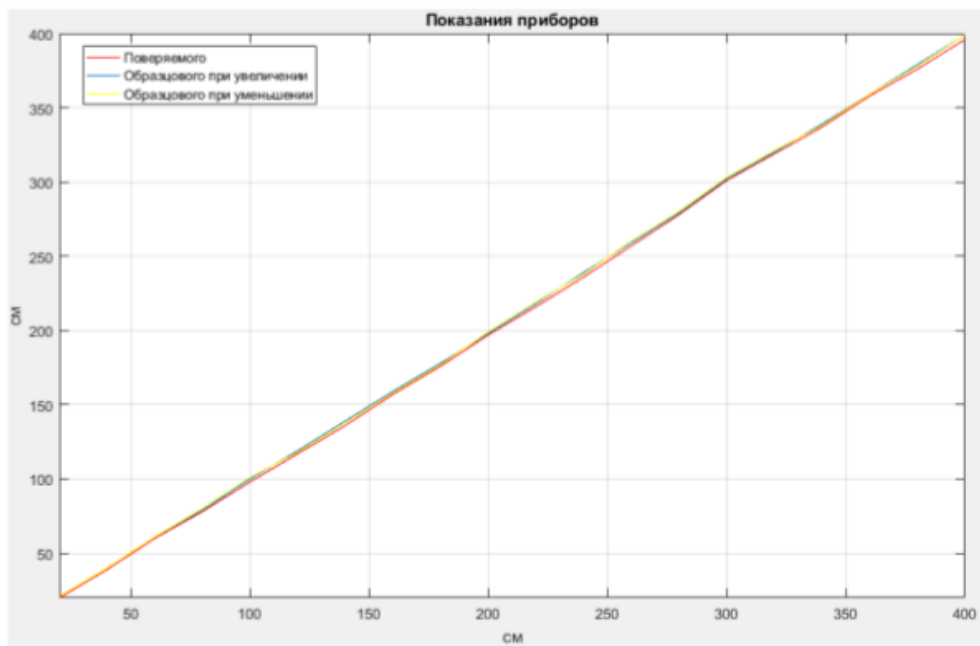


Рис. 2.24 Показания поверяемого и зразкового пристроїв на всіх діапазоні вимірювань

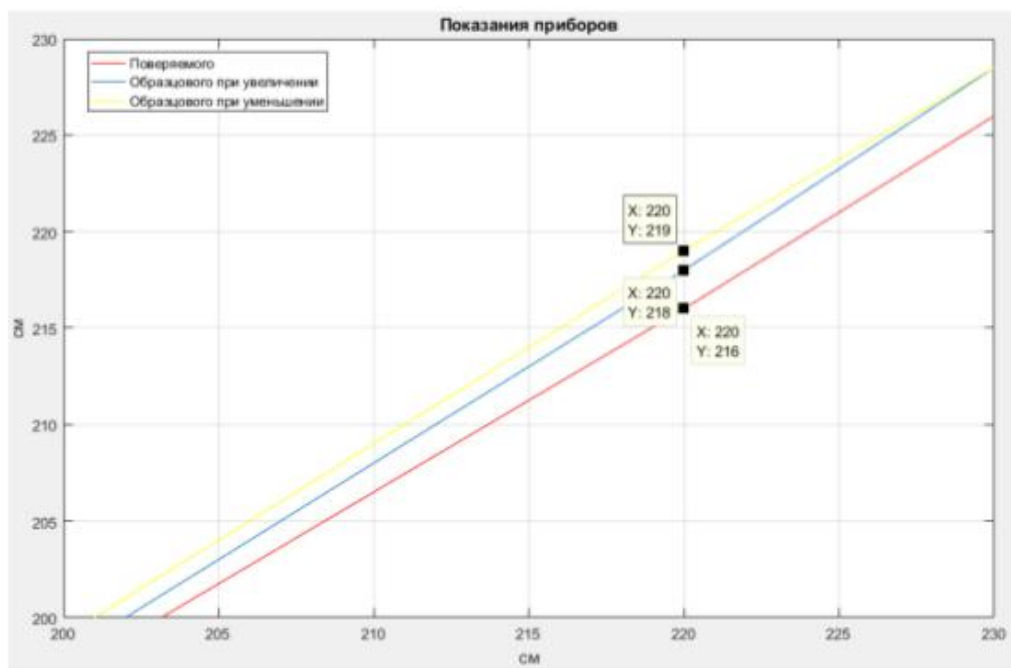


Рис. 2.25 Показания поверяемого и зразкового пристроїв на діапазоні від 200 до 230 сантиметрів



Максимальна абсолютна похибка при вимірюванні відстані склала 0,03 м в обраному діапазоні, а значить, результат вимірювань можна представити у вигляді  $S_p = S \pm 0,03$  м, де  $S_p$  - значення відстані в даний момент часу, а  $S$  – значення відстані, що показується пристроєм на дисплеї після його обчислення.

У таблиці 2.10 наведені результати розрахунку основних метрологічних характеристик розробленого пристрою:

- Відносна похибка:  $\delta = 5\%$  при  $S = 0,2$  м.
- Наведена похибка:  $\gamma = 0.75\%$
- Варіація:  $H = 0.25\%$

Швидкість звуку в середовищі залежить від стискуваності або пружності описується формулою:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} = \sqrt{\frac{1}{\beta\rho}} = \sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}}, \quad (2.25)$$

де  $E$  - модуль Юнга,  $1/E$  - коефіцієнт об'ємного стиснення,  $p$  - тиск,  $\rho$  - густина середовища.

Для газів за умови адіабатичності процесу маємо:

$$\sqrt{\frac{\partial p}{\partial \rho}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{c_p}{c_v} \cdot \frac{p}{\rho}}, \quad (2.26)$$

де  $c_p$  та  $c_v$  - теплоємності за сталого тиску та об'єму ( $V = 1,401$  м<sup>3</sup>).

$$p = \frac{R_y}{\mu} \rho T \quad (2.27)$$

Підставляючи , отримуємо формулу для будь-якого газу:

$$v = \sqrt{1,4 \frac{R_y}{\mu} T} \quad (2.28)$$

Підставивши визначені в завданні параметри в рівняння 2.28, отримуємо графічну залежність швидкості звуку від температури розробленої системи вимірювання

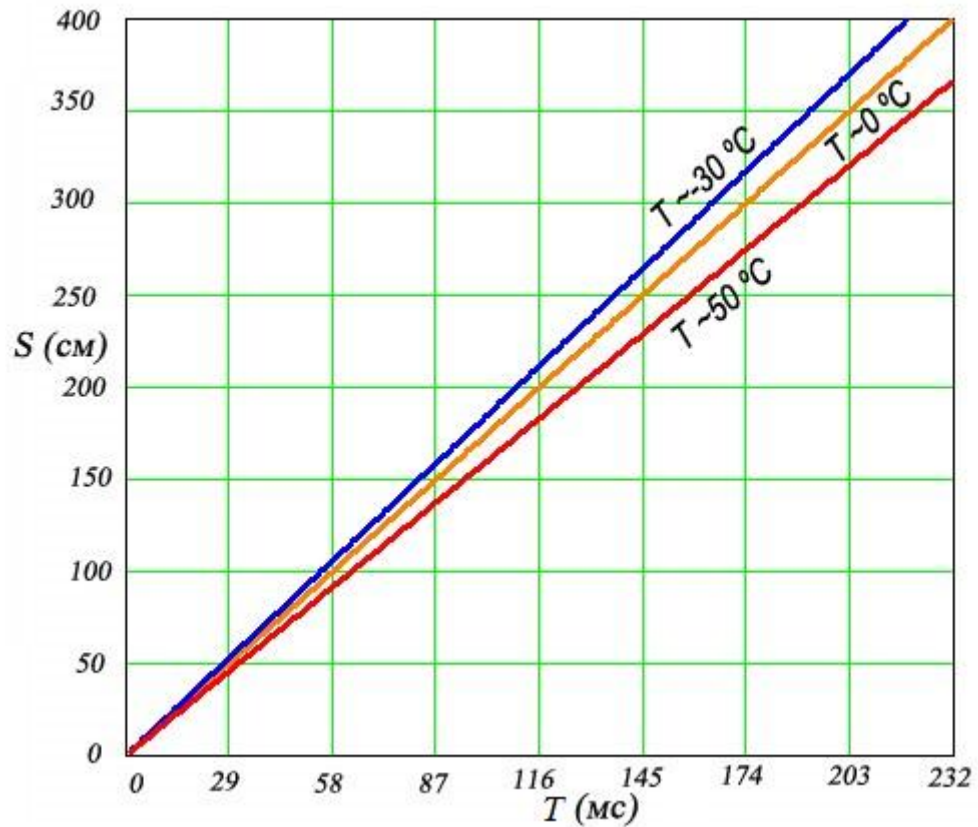


Рис. 2.26 Залежність швидкості звуку від температури навколишнього середовища розробленої системи вимірювання

## **2.6 Висновки до розділу**

В даному розділі було проаналізовано можливість реалізації інтелектуальної платформи для ультразвукового датчика відстані на основі мікроконтролера нечіткої логіки, визначено недоліки складових інтелектуальної платформи для розвитку даної технології.

Побудовано схему визначення нечіткої множини для сенсора відстані, таблиця нечітких правил і правила фазифікації для системи.

На підставі цього була побудована блок-схема алгоритму роботи інтелектуального датчика на мікроконтролері нечіткої логіки.

Запропоновано призначення розробленої платформи та її основні характеристики. Обумовлено конструкційні особливості платформи датчика, розроблена структурна схема платформи ультразвукового датчика. Визначено математичну модель ультразвукового перетворювача.

Порівняння показань спроектованого перетворювача з еталонним дозволило розрахувати основні метрологічні характеристики приладу

## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА СТАРТАП ПРОЕКТУ «ПАРКУВАЛЬНИЙ АСИСТЕНТ»

#### 3.1 Опис ідеї проекту

Взявши за основу матеріали досліджень, описаних в попередніх двох розділах, метою даного розділу буде проведення аналізу стартап проекту, присвяченому розробці системи вимірювання відстані в автомобілебудуванні.

Ідея проекту полягає у впровадженні комплексу вирішення ідей, наведених у табл. 3.1.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

*Таблиця 3.1*

Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Виробництво систем вимірювання відстані	Цивільні користувачі	Повсякденна допомога в керуванні автомобілем
	Автоматизація на виробництвах	Підвищення технологічності та безпеки на підприємствах
	ВПК	Використання системи у ВПК країни для модернізації існуючого обладнання

У стартап проекті розроблено план впровадження власного виробництва вимірювальних систем на основі ультразвукових перетворювачів.

Впровадження такого проекту дозволить створити власне вітчизняне підприємство з робочими місцями, залучити до його розвитку іноземних інвесторів та наукові досягнення існуючих виробників, представлених на міжнародному ринку, таких як Bosch, Denso та ін.

В першу чергу, за рахунок використання кадрових та технічних ресурсів країни, в рамках малих обсягів виробництва на початкових стадіях впровадження проекту, вже можна буде досягти зменшення вартості

продукції у порівнянні з конкурентами, а після досягнення серійного виробництва, вийти на міжнародний ринок.

У таблиці 5.2 визначено слабкі та сильні сторони техніко- економічних характеристики ідеї, в порівнянні з основними конкурентами.

Таблиця 3.2

Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Власний проект	Bosch	Denso			
1.	Вартість програмного забезпечення	Низька	Найдорожча на ринку	Дешева			+
2.	Вартість виробництва	Низька	Найбільша на ринку	Помірна			+
3.	Ліквідність	Постійно зростаюча	Поступово падає	Стабільна		+	+
4.	Собівартість виготовлення продукції	Низька	Висока	Середня			+
5.	ВВП	Постійно зростаюча	Стабільна	Поступово падає		+	
6.	Торгова марка	Потребує реклами	Найвідоміша	Відома в вузьких кругах	+		

Як бачимо, проект має як сильні так і поки що слабкі сторони, пов'язані з монополізацією ринку даної продукції на даний час.

Незважаючи на це, техніко- економічні характеристики проекту дозволять в самі короткі терміни вийти на високий рівень прибутку підприємства.

### 3.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Перш ніж приступити до реалізації, необхідно впевнитись в реальності впровадження проекту, для цього проведемо аналіз технологічної здійсненності ідеї проекту, що передбачає дослідження параметрів наведених в таблиці 5.3.

Таблиця 3.3

#### Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Виробництво систем вимірювання	Створення програмного забезпечення	Конструктори, CAD та Simulation програми	Більшість програмних комплексів для вирішення поставлених задач безкоштовні
		Виготовлення комплектуючих	3-D принтери, станки з ЧПУ та ін.	Легко впроваджується за рахунок сучасних технологій
		Налагодження ринку збуту	Потреба цивільного населення, підприємств в таких системах	Впровадження рекламних проектів в соц. мережах, телебаченні та ін.

Проаналізувавши данні, можна досягти висновку, що впровадження проекту не має перед собою перешкод, які могли б мати суттєвий вплив на досягнення поставленої мети.

### 3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Далі проведемо аналіз ринку, на наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку (табл. 3.4), це дозволить бути готовими до можливих труднощів, з якими доведеться зіштовхнутися при впровадженні торгівлі.

Таблиця 3.1

#### Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Характеристика ринку	Характеристика
1	Кількість конкурентів, од	Близько 5 фірм на ринку України
2	Загальний обсяг продаж, грн	до 10 млн.
3	Динаміка ринку	Зростаючий попит цивільного та промислового ринку
4	Наявність обмежень для входу	Часткова монополізація вітчизняного ринку іноземними фірмами
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Потребує метрологічної повірки та стандартизації відповідно до вимог ДСТУ та ISO
6	Середня норма рентабельності ринку, %	Від 30 до 60 в залежності від регіону

Як бачимо, на ринку України є декілька фірм, що пропонують схожий товар. Більша доля ринку зосереджена в руках фірми Bosch за рахунок тривалої відсутності конкуренції зі сторони східних та вітчизняних виробників. Демпінг, що характерний для нашого виробництва дозволить поступово зайняти нішу в цьому сегменті ринку та розвивати її.

Визначимо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.2

#### Характеристика потенційних клієнтів стартап проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільові сегменти ринку	Відмінності у поведінці різних потенційних	Вимоги споживачів до товару
-------	--------------------------	------------------------	--	-----------------------------

			цільових груп клієнтів	
1	Модернізація та автоматизація виробництв	Промислові підприємства з використанням складських транспортних засобів	Закупка малими партіями	Практичність, надійність, природність до ремонту та легкість
2	Переобладнання існуючого автопарку	Комунальні та державні підприємства	Універсальність стосовно об'єктів використання	Дешевизна, надійність,
3	Відсутність опції в старих та базових комплектаціях автомобілів	Цивільні власники транспортних засобів	Одинична реалізація	Дешевизна, надійність, дизайн
4	Відсутність власного виробництва	ВПК	Закупка великими партіями та постійна підтримка	природність до ремонту, точність

Ми спостерігаємо неоднорідність у цільових сегментах ринку, що відображається в покупній здатності та потребах окремих споживачів, наша головна задача - задовольнити ці потреби.

При впровадженні даної технології, існують певні загрози (табл.3.6), пов'язані в першу з акліматизацією виробництва в рамках малого та середнього бізнесу в нашій країні.



Таблиця 3.3

## Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Політичний	Підвищення податків	Податкові канікули
2.	Економічний	Неліквідність виробництва впродовж тривалого часу	Підвищення автоматизації та збільшення обсягів продажу
3.	Випадковість	Пожежі, землетруси, крадіжка та ін.	Страховання компанії
4.	Торговий	Монополізація з боку існуючих компаній	Демпінг
5.	Інформаційний	Розповсюдження негативних відгуків з боку конкурентів	Рекламні компанії в соц. мережах та ін.

Фактори загроз можуть мати негативний вплив та викликати певні труднощі в процесі впровадження виробництва, але, якщо врахувати їх на початковому етапі розробки, вони дадуть розвиток факторам можливостей, наведених в табл. 3.7.

Таблиця 3.4

## Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Нові способи використання	Більша кількість точок зв'язку з користувачем	написання програми-аналога з більшими можливостями
2.	Сумісність з різними операційними системами	Використання різних операційних систем створює проблему конфліктності у використанні однієї платформи	Написання прошивки під роботу з різними операційними системами
3.	Універсальність	Використання приладу в широкому ряду автомобілів	Розробка компактної та універсальної конструкції
4.	Розроблення нових проектів	Залучення нових працівників	Проведення стартапів
5.	Спосіб використання	Більш кількість точок зв'язку з користувачем	написання програми-аналога з більшими можливостями

Нові можливості, які притаманні нашому проекту дозволять налагодити торгівельні відносини з кожним з окремих сегментів ринку та поступово досягти монополізації ринку.

Таблиця 3.5

#### Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

№ п/п	Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1.	Монополістична конкуренція	Існує безліч схожих, але не ідентичних товарів	Конкуренція змушує розробляти нові привабливі ідеї
2.	Глобальний рівень конкурентної боротьби	Продукція виробляється по всьому світі	Нижча ціна, більш зручна система, підтримка національного продукту
3.	Міжгалузева ознака	Дана продукція охоплює галузь ІТ	Оновлення та покращення роботи приладу дозволить бути завжди конкурентно-спроможним
4.	Товарно-родова конкуренція	Конкуренція між товарами, що виконують схожі функції	Реклама, нові функції
5.	Цінова конкурентна перевага	Вітчизняний продукт у національній валюті	Моніторинг цін на ринку
6.	Марочна продукція	Зареєстрований бренд, марка має величезний вплив на вибір і думку покупця	Реєстрація марки, рекламування товару

Ступеневий аналіз ринку конкуренції дозволить зрозуміти основні напрямки, які слід розвивати для вирішення задач, поставлених перед проектом, але для підвищення точності проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 3.6

#### Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
------------------	---------------------------	-----------------------	---------------	---------	------------------

	Bosch Denso Delphi Siemens	Ціна, якість, швидкість роботи	Без дистриб'юторі в. Самі ж компанії являються постачальника ми товарів на ринок, щоб уникнути додаткових витрат	Клієнти залишають відгуки, оцінюють роботу додатку. Тому суб'єктивна оцінка з боку покупців завжди є високопоставл ена	Неякісно написані програми- аналоги
Висновк и:	Багаті німецькі та японські компанії мають великий вплив на ринок, Bosch, як першовідкрив ач, має високий рейтинг відносно інших фірм	Необхідно прямувати до стандартів якості, заданих конкурента ми	Постачальник и продукції встановлюють ціну	Потреби ринку встановлюють покупці. Тому це завжди є ключовим фактором.	Часті поломки, вихід з ладу комплектуюч их

Проаналізувавши отримані дані з попередніх таблиць, на даному етапі ми вже можемо визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 3.7

#### Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Новизна і прогрес	Сучасні технології та платформа розробника
2	Собівартість	Низька собівартість продукції
3	Інтернет ресурс	Прилад представлений для споживачів України
4	Гарантія	Продовжена гарантія на 2 та більше років
6	Знижка на оптову покупку	При масовій закупці приладів та комплектуючих – знижки залежно від обсягу
7	Система постійних клієнтів, VIP-клієнтів	Постійним клієнтам знижка 10%

8	Система акцій	Великий асортимент акційних послуг
9	Система бонусів	Бонуси за кожен покупок, які в подальшому можна обміняти на знижки

Таблиця 3.8

### Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з «Bosch»						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Новизна і прогрес	15						X	
2	Собівартість	11		X			X		
3	Гарантія	15							
4	Система постійних клієнтів, VIP-клієнтів	11		X					
5	Система акцій	11				X			
6	Система бонусів	10	X						

Проаналізувавши отримані дані таблиць 3.10 та 3.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності мають значний вплив та можуть вносити суттєву якісну оцінку в процесі впровадження виробництва систем вимірювання відстані. Головними перевагами власної продукції є адекватність вартості, варіативність та гарантійна підтримка продукції.

Таблиця 5.9.

### SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Вартість програмного забезпечення</li> <li>- Вартість виробництва</li> <li>- Ліквідність</li> <li>- Собівартість виготовлення продукції</li> <li>- ВВП</li> </ul>	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Новизна торгівельної марки</li> </ul>
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Нові способи використання</li> <li>- Сумісність з різними операційними системами</li> <li>- Універсальність</li> <li>- Розроблення нових проектів</li> <li>- Спосіб використання</li> </ul>	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Політичні</li> <li>- Економічні</li> <li>- Випадкові</li> <li>- Торгові</li> <li>- Інформаційні</li> </ul>

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи, до яких можливо, доведеться прибїгти, у випадку зіткнення з не віршувальними складнощами або форс-мажорними обставинами.

*Таблиця 5.10.*

Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Укласти договір з одним із конкурентів про співпрацю і взаємообмін запатентованими розробками	30%	2 місяці
2	Укласти договір з партнерами про розширення партнерської діяльності	70%	4 місяці
3	Укласти договір з робочим персоналом щодо збільшення можливостей приладу	95%	3 тижні
4	Розширення компанії внаслідок збагачення цінними кадрами	90%	6 місяців

В залежності від обставин, зі списку зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу, керуючись ринковими можливостями, що діятимуть на той час.

### 3.4 Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 3.11.

#### Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Промислові компанії	Готові	Середній	Високий	Легко
2	Цивільне населення	Готові	Високий	Високий	Легко
3	Державні служби	Майже готові	Середній	Середній	Середньої складності

Виходячи з результатів аналізу потенційних груп споживачів було обрано орієнтацію в першу чергу на цивільне населення, що пов'язано в першу чергу з готовністю споживача сприйняти продукт та високому попиту серед цивільного населення. З компаніями та державними підприємствами для ведення торгівлі необхідно слідувати правилам взаємодії з юридичними особами тендерами.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 3.12.

#### Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
Залучення споживачів	Робити ставку на якість продукту та обслуговування споживачів з метою створення стійкого попиту на товар	Оптимальне співвідношення ціни та якості	Удосконалення та розширення

Визначивши базову стратегію розвитку, ми матимемо можливість слідувати в чітких рамках взаємозв'язку виробника з покупцем, знайти точки взаємозв'язку для покращення торгових відносин, що позитивно скажеться на попиті на продукцію.

Вибір стратегії конкурентної поведінки наведено в табл. 3.16.

Таблиця 3.13.

#### Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
Ні, на даний момент на ринку представлено кілька всесвітньо відомих виробників та значна кількість східних аналогів низької якості	Залучення нових споживачів відбудуватиметься за рахунок встановлення конкурентних цін в порівнянні з аналогами та якістю відомих брендів	Надійність, дешевизна, після продажна підтримка, гарантія	Поступове присвоєння значної долі ринку в данному сегменті ринку

Переїнявши досвід існуючих виробників та їх найкращі риси, ми матимемо можливість спроектувати їх на власний продукт, давши нових споживачам альтернативу.

Зважаючи на це, розробляємо стратегію позиціонування для самовизначення проекту, як до торгівельної марки.

Таблиця 3.14.

#### Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Висока якість	Введення систем	Оптимальне	Висока якість

		стандартизації світового рівня	співвідношення ціни та якості	продукту та сервісу та відповідальність
2	Конкурентна вартість	Моніторинг ринку з ціллю визначення потреб споживачів	Здешевлювання вартості за рахунок вітчизняного виробництва	Дешевий і в той же час надійний вітчизняний продукт
3	Придатність до ремонту	Оновлення технологічної бази виробництва та модернізація	Розробка нових каналів зв'язку та впровадження їх в систему	Надійність та взаємозамінність комплектуючих

Як результат, ми отримуємо систему рішень щодо ринкової поведінки компанії, яка задає тенденцію розвитку та вектор спрямування ринкових відносин.



### 3.5 Розробка маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.15.

#### Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1	Точність	Забезпечує високу точність виміру	Використання якісних комплектуючих та проведення перевірок якості на кожному етапі виготовлення продукту
2	Доступність	Доступність більшості власників авто	Відносно невисока вартість та можливість підбору комплектації відповідно до потреб клієнта.
3	Комфорт	Зручність та інформативність.	Звукові сигнали, траєкторія руху, зображення в 3D.

Проаналізувавши наведенні вище концепції потенційного товару, ми можемо зробити висновок, що створений новий продукт матиме характерні позитивні відмінності в порівнянні з існуючими зразками, представленими на ринку, при цьому перейнявши їх кращі риси.

Таблиця 3.16.

#### Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Сучасний точний пристрій для вимірювання відстані, легкий у встановленні та зручний в експлуатації		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Різноманітність систем взаємозв'язку з користувачем	Нм	Тх
	2. Універсальність	М	Тх
	3. Ліквідність	Нм	Е
	4. Точність приладу	Нм	Тх
	Якість: патент на корисну модель, технічний регламент щодо паркувальних асистентів		
	Пакування: відстань до перешкоди в реальному часі.		
III. Товар із підкріпленням	Марка: назва організації-розробника + назва товару		
	До продажу: можливість обрати, те що необхідно		
	Після продажу: Гарантійна підтримка		

Далі встановимо межі вартості, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 5.20).

Таблиця 3.17.

#### Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	500-25000	5000-100000	12000-20000 грн.	2000-45000

За рахунок широкого модельного ряду продукції, торгова марка даватиме можливість вибору покупцеві, відповідно до його можливостей та потреб.

Таблиця 3.18.

#### Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на регулярні поставки	Встановлення контактів із споживачами та їх підтримка	(без посередників)	Оптова торгівля
2	Малі обсяги закупівель	Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації Зменшення витрат в ході збуту продукції	Торгівельна франшиза	Роздрібна торгівля
3	Державні закупівлі	Формування попиту і стимулювання збуту	Міністерство інфраструктури	Тендер

Сформувавши систему збуту відповідно до специфіки різноманітних сегментів ринку, ми матимемо змогу краще відпрацьовувати з кожним з них та надавати можливі знижки та спеціальні пропозиції, відповідно до обсягів замовлень.

Таблиця 5.19.

#### Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Орієнтація на регулярні поставки	Особисті канали зв'язку	Надійність, технологічність	Інформування споживачів; Пошук вигідних партнерів	Надійний партнер у загальній справі
2	Відповідність індивідуальним потребам	Інтернет, телебачення	Точність Доступність Комфорт	Стимуляція продажу	Якість як продукту, так і сервісу
3	Тендерна стратегія	Звернення		Розвиток попиту	Власне прибуткове виробництво

Налагодивши маркетингову комунікацію з усіма сегментами ринку та обравши концепцію роботи з кожним з них, спираючись на правильно обрані канали комунікацій та позиціонування бренду, очікується поступове нарощування відсотку продажів у кожному з даних сегментів ринку.

### **3.6 Висновки до розділу**

Роблячи загальний висновок аналізу даного стартап проекту , можна зробити висновок, що його впровадження дасть змогу створити власне потужне вітчизняне виробництво з робочими місцями, залучити до його розвитку іноземних інвесторів. Спираючись на наукові досягнення існуючих виробників, проаналізувавши дані, можна визначити та обґрунтувати перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз дозволив зрозуміти основні напрямки, які слід розвивати для вирішення задач, поставлених перед проектом. Визначення базової стратегію розвитку дало можливість створити чіткі рамки взаємозв'язку виробника з покупцем, знаходити точки взаємозв'язку для покращення торгових відносин.

Аналіз меж вартості продукції конкурентів та покупної здатності окремих сегментів ринку дозволяють визначити оптимальний принцип ціноутворення для власної продукції, спираючись на собівартість виробництва та обсягів товарообігу.

Налагодження маркетингової комунікації та ефективної систему збуту продукції для кожного окремого сегменту ринку та обравши концепцію роботи з кожним з них, вже впродовж перших кількох років можна прогнозувати прибутковість такого виробництва, за умови правильно обраних каналі комунікацій та позиціонування бренду.

Подальший розвиток науки і техніки в даній галузі у взаємозв'язку з іншими світовими компаніями дозволить впроваджувати нові розробки в автомобілебудуванні та створенні автоматизованих систем навігації та орієнтування в просторі.

Всі ці фактори дають можливість охарактеризувати даний стартап проект як потенційно ефективний і необхідний для впровадження задля розвитку країни в напрямку проектування систем вимірювання та автоматизації.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В даній роботі було проаналізовано можливість реалізації інтелектуальної системи вимірювання відстані з використанням ультразвукових перетворювачів на основі мікроконтролера нечіткої логіки, визначено переваги та недоліки складових інтелектуальної платформи для впровадження в виробництво.

Запропоновано призначення розробленої системи та її основні характеристики. Обумовлено конструкційні особливості платформи датчика, розроблена структурна схема платформи ультразвукового датчика. Складено схему визначення нечіткої множини для сенсора відстані, таблицю нечітких правил і правила фазифікації для системи.

Застосовування таких датчиків може бути корисним в приладобудуванні, автомобілебудівній та авіаційній промисловості.

У приладобудуванні датчик може використовуватися в системах об'єктивного контролю і в системах підвищення надійності автоматизованих систем обробки інформації та управління.

Спільно з автоматизованою системою діагностики та обробки інформації, датчик може бути застосований у системах об'єктного контролю (в приладобудуванні) для подальшого відновлення картини події роботи приладу.

Визначено математичну модель ультразвукового перетворювача.

В ході розробки інтелектуальної платформи для ультразвукового датчика відстані як приладу на базі мікроконтролера нечіткої логіки було виявлено наступні недоліки:

- незручність у внесенні змін до програмного забезпечення мікроконтролера;
- великі габаритні розміри мікроконтролера не задовольняють габаритам інтелектуального датчика.

До основних переваг розробленої системи в першу чергу варто віднести модульність системи, яка в свою чергу дозволяє комбінувати та вдосконалювати вже розроблені прототипи новими технологіями.

Надійність компонентів та універсальність обраного принципу вимірювання забезпечує точність вимірювання в межах абсолютної похибки 0,75 %.

Порівняння показань спроектованого перетворювача з еталонним дозволило розрахувати основні метрологічні характеристики приладу.

Розробка та аналіз стартап проекту дає можливість об'єктивно оцінити можливість впровадження вітчизняного виробництва систем вимірювання відстані з метою їх подальшої реалізації під власною торгівельною маркою.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. П'єзоелементи [Електронний ресурс].– Режим доступу: <http://engineering-solutions.ru>
2. Й.Крауткремер, Г.Крауткремер. Довідник. Ультразвуковий контроль матеріалів.-Москва .: Металургія, 1991.
3. Ranier Clement Tjioptrodjo. On a Finite Element Approach to Modeling of Piezoelectric Element Driven Compliant Mechanisms.- Saskatchewan, Canada .: University of Saskatchewan Saskatoon, April 2005
4. David H. Johnson. Simulation of an ultrasonic piezoelectric transducer for NASA / JPL Mars rover.- PA, USA .: Cybersonic, Inc. of Erie, 2003.
5. Tokin. Multilayer Piezoelectric Actuators. User's Manual, Tokin Corporate Publisher .: 1996.
6. Л.В. Коретникова. «Матеріали п'єзокерамічні», ГОСТ Р 8.936. ОСТ 11 0444-87 Москва — 2017
7. Д.В.Сівухін. Загальний курс фізики. Т.І. Механіка.- Москва.: 1979.
8. Голяміна І.П. Ультразвук.-Москва .: з-під «Радянська енциклопедія», 1979
9. Jan Tichy, Jiry Erhart, Erwin Kittinger, Jana Privratska. Fundamentals of Piezoelectric Sensorics.- Heidelberg, Dordrecht, London, New York .: Springer 2010
10. Котюк А. Ф. Датчики в сучасних вимірюваннях. М. : Радіо и звязок, 2006. 235 с.
11. Бейліна Р. А., Грозберг Ю. Г., Довгяло Д. Мікроелектронні датчики. Новополицьк : ПГУ, 2001. 270 с.
12. Осадчий Є. П. Проектування пристроїв для вимірювання механічних величин : навчальний посібник. М. :Машинобудування, 1979. 300 с.
13. Джексон Р. Г. Новейшие датчики / Под ред. В. В. Лучинина. М. : Техносфера, 2007. 246 с.

14. Семенов Б. И., Максимова М. В. Интеллектуальная платформа для устройств автоматики // Нигматуллинские чтения-2018: сборник научных трудов по итогам международной научной конференция. Том 1. Казань : Изд-во АН РТ, 2018. С. 151–154.

15. Фрунзе А. В. Микроконтроллеры? Это же просто! Т. 1. М. : ООО «ИД Скимен», 2002. 336 с.

16. Костиков В. Г., Парфенов Е. М., Шахнов В. А. Источники электропитания электронных средств. Схемотехника и конструирование : учебник для вузов. 2-е изд. М. : Телеком, 2001. 344 с.

17. Ранеев Г. Г. Интеллектуальные средства измерений : учебник для студ. высш. учеб. заведений. М. : Издательский центр «Академия», 2011. 272 с.

18. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление. М. : Бином. Лаборатория знаний, 2013. 798 с.

19. Гитман М. Б., Столбов В. Ю., Гилязов Р. Л. Управление социально-техническими системами с учетом нечетких предпочтений. М. : ЛЕНАНД, 2011. 272 с.

20. Заде Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М. : Мир, 1976. 166 с.

21. Круглов В. В., Дли М. И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М. : Физматлит, 2002. 198 с.

22. Круглов В. В., Дли М. И., Голунов Р. Ю. Нечеткая логика и искусственные нейронные сети. М. : Физ-матлит, 2001. 221 с.

23. Труды института системного программирования, 1999. Том 1. / Под ред. В. П. Иванникова. М. : Био-информсервис, 2000. 124 с.

24. Zhdanov A. A. About an Autonomous Adaptive Control Methodology // ISIC/CIRA/(ISAS'98), NIST, Gaithersburg, Maryland. September 14–17, 1998, P. 227–232.



25. Zhdanov A. A., Vinokurov A. N. Emotions Simulation in Methodology of Autonomous Adaptive Control // Proceedings of ISIC'99/ISAS'99, 1999.

26. Документація на ультразвуковий далекомір GH-311: Ultrasonic Ranging Module [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://goo.gl/qNTTLV>

27. Документація на мікроконтролери: STM32F100x4 STM32F100x6 STM32F100x8 STM32F100xB [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <http://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/dd/87/fd/2a/fb/3f/48/5c/CD00251732.pdf/files/CD00251732.pdf/jcr:content/translations/en.CD00251732.pdf>

28. Документація на ультразвуковий далекомір HCSR04: Ultrasonic Ranging Module [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Proximity/HCSR04.pdf>

29. Документація на ультразвуковий далекомір US-015: Ultrasonic Ranging Module [Електронний ресурс] : – Режим доступу: <http://akizukidenshi.com/download/ds/sainsmar/US-015Manul.pdf>

30. Нелліган, Т. Введення в ультразвукової аналіз матеріалів / Т. Нелліган; ЗАТ «ПАНАТЕСТ НК». М., 2006.

31. Вейс, Е. А. Ультразвукове сканування як метод покращення ефективності виробництва алюмінію / Е. А. Вейсов, А. В. Хникін // Алюміній Сибіру-2005: зб. доп. XI Міжнар. конф. / Краснояр. держ. техн. ун-т, 2005. С. 174-177.

32. Вейс, Е. А. Неруйнівний контроль при виливці алюмінієвих зливків / Е. А. Вейс, О. В. Непомнящий, А. В. Хникін // Укр. Краснояр. держ. техн. ун-ту. No 33. Красноярськ, 2004. С. 48-55.

33. Непомнящий, О. В. Застосування об'ємної реверберації ультразвуку в методах неруйнівного контролю виробів / О. В. Непомнящий, А. В. Федоров // Матеріали XLIV Міжнар. науч. конф. / Новосиб. держ. ун-т. Новосибірськ, 2006. С. 116-117.

34.

" " . " 0' 0' "

" " " " " " " " "T" 0' 0'

0' 0' "II" " " " \*

(2018),

22-23 "2018," " " \* ± " 0' .

: " 0— ": " " " \* ±

2018.— 0211–213. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30858>

35.

" :

" " " " " " " "

" "] " —:

" " / " "

151 « " ") / " » "152

« " " / " » / " 0' "

"= 0 0' 0' ." 0' 0' 0— " "

\*1 : 2,09 +0— ": " 0' ".

2019.— 106 0— "" 0<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30397>

36.

0' 0' ." 0' 0' "I" " "/ " "T"

"< :

>>" "110-

"< >:" "23 "2008 ." 0' ." "I" "

<>, 0— ": "< >, 2008.— 053

<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/30557>

## ДОДАТКИ

### ДОДАТОК А

```
RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOB, ENABLE);
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_TIM4, ENABLE);

GPIO_InitTypeDef Init_PORTB;
// Налаштування виводу PB6 TIM4 для вимірювання сигналу (Echo_Pin)
Init_PORTB.GPIO_Pin = GPIO_Pin_6;
Init_PORTB.GPIO_Speed = GPIO_Speed_10MHz;
Init_PORTB.GPIO_Mode = GPIO_Mode_IN_FLOATING;
GPIO_Init(GPIOB, &Init_PORTB);
// Налаштування виводу PB7 для формування імпульсу (Trig_Pin)
Init_PORTB.GPIO_Pin = GPIO_Pin_7;
Init_PORTB.GPIO_Speed = GPIO_Speed_10MHz;
Init_PORTB.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_PP;
GPIO_Init(GPIOB, &Init_PORTB);

RCC_ClocksTypeDef RCC_ClocksStatus;
RCC_GetClocksFreq(&RCC_ClocksStatus);
// 1 мік = 1 мкс (1 мік = 0.170 мм)
uint16_t prescaler = RCC_ClocksStatus.SYSCLK_Frequency / 1000000 - 1;

// Скидування реєстрів (відключення) таймера 4
TIM_DeInit(TIM4);
// Заповнення полів структури для ініціалізації таймера
TIM_TimeBaseInitTypeDef TIM_TimeBaseInitStruct;
TIM_TimeBaseInitStruct.TIM_Prescaler = prescaler;
TIM_TimeBaseInitStruct.TIM_CounterMode = TIM_CounterMode_Up;
TIM_TimeBaseInitStruct.TIM_Period = 0xFFFF;
TIM_TimeBaseInitStruct.TIM_ClockDivision = TIM_CKD_DIV1;
TIM_TimeBaseInit(TIM4, &TIM_TimeBaseInitStruct);

// Налаштування 1 каналу таймера 4 в режимі захоплення сигналу
TIM_ICInitTypeDef TIM_ICInitStruct;
// Вибір каналу 1
TIM_ICInitStruct.TIM_Channel = TIM_Channel_1;
// Спрацювання таймера по зростаючому фронту
TIM_ICInitStruct.TIM_ICPolarity = TIM_ICPolarity_Rising;
// Входи таймера по порядку
TIM_ICInitStruct.TIM_ICSelection = TIM_ICSelection_DirectTI;
// Спрацювання таймера на кожній події
TIM_ICInitStruct.TIM_ICPrescaler = TIM_ICPSC_DIV1;
// Фільтрація сигналів, через скільки відліків почати рахувати
TIM_ICInitStruct.TIM_ICFilter = 0;
```

```

/* Налаштування TIM4 у відповідності до вказаних параметрів
в TIM_ICInitStruct для вимірювання зовнішнього сигналу. */
TIM_PWMConfig(TIM4, &TIM_ICInitStruct);

// Затримка в мкс
void Delay_us(uint32_t us)
{
    volatile uint32_t nCount;
    RCC_ClocksTypeDef RCC_Clocks;
    RCC_GetClocksFreq(&RCC_Clocks);

    nCount = (RCC_Clocks.HCLK_Frequency/1000000)*us;
    for (; nCount != 0; nCount--);
}

// Функція повертає відстань до об'єкту в см
uint32_t GetDistance()
{
    // Скидування облікового реєстру
    TIM_SetCounter(TIM4, 0);
    // Розширення тактування лічильника
    TIM_Cmd(TIM4, ENABLE);
    // Формування імпульсу для запуску вимірювання (10 мкс)
    GPIO_SetBits(GPIOB, GPIO_Pin_7);
    Delay_us(10);
    GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_7);
    // Очікуємо встановлення прапорця
    while(TIM_GetFlagStatus(TIM4, TIM_FLAG_Update) == RESET);
    // Припинення тактування лічильника
    TIM_Cmd(TIM4, DISABLE);
    // Скидування прапорця
    TIM_ClearFlag(TIM4, TIM_FLAG_Update);
    // Повернення відстані до об'єкта в см
    return (TIM_GetCapture2(TIM4) - TIM_GetCapture1(TIM4)) * 17/1000;
}

int main(void)
{
    volatile uint32_t Distance = 0;
    while(1)
    {
        /* змінній Distance привласнюється розраховане значення відстані в см */
        Distance = GetDistance();
        /* Після цього, значення змінної Distance
        можна вивести зручним для користувача способом */
    }
}

```